



日本気象学会北海道支部機関誌

# 細氷

43

1997

— 目 次 —

|                               |                              |     |
|-------------------------------|------------------------------|-----|
| 1. 支部長挨拶                      | 菊地 勝弘                        | 1   |
| 2. 解説                         |                              |     |
| ● 米国および英国の気象サービスの動向           | 古川 武彦 (札幌管区気象台)              | 2   |
| 3. 平成8年度第2回支部研究発表会要旨          |                              | 19  |
| 4. 平成9年度第1回支部研究発表会要旨          |                              | 41  |
| 5. 第15回夏季大学「新しい気象」講座          |                              |     |
| 夏季大学雑感                        | 佐々木 浩 (日本気象協会北海道本部)          | 60  |
| ● 北海道に被害をあたえる地震               | 本谷 義信 (北海道大学理学部地震予知観測地域センター) | 62  |
| ● 気候・季節・暦の話                   | 竹谷 良一 (札幌管区気象台)              | 71  |
| ● 降水の酸性化 (酸性雨)                | 野口 泉 (北海道環境科学研究センター)         | 82  |
| ● 大雪発生のメカニズム                  | 藤吉 康志 (北海道大学低温科学研究所)         | 92  |
| 6. 平成8年度気象講演会                 |                              |     |
| 気象講演会雑感                       | 大西 晴夫 (札幌管区気象台)              | 98  |
| ● 最新レーダーが明かす降雪のしくみ            | 上田 博 (北海道大学大学院理学研究科)         | 99  |
| ● グライダーと気象                    |                              |     |
| ～雲たちの千の顔 青空の千の色～              | 丸伊 満 (滝川市教育委員会スカイスポーツ課)      | 103 |
| ● 地球環境問題とオゾン層破壊               | 塩谷 雅人 (北海道大学大学院地球環境科学研究科)    | 108 |
| ● 北海道北部浅発地震帯の活動               |                              |     |
| ～北竜地震はなぜ起きたか～                 | 笠原 稔 (北海道大学理学部地震予知観測地域センター)  | 112 |
| 7. 日本気象学会1997年秋季大会 (札幌) のお知らせ |                              | 117 |
| 8. 写真訪問                       |                              |     |
| ● 北海道農業試験場クリオトロン              |                              |     |
| ～農業低温科学研究の総合実験施設～             | 城岡 竜一 (北海道農業試験場)             | 118 |
| ● 紋別測候所                       | 藤山 興二 (紋別測候所)                | 120 |
| 9. 平成9年度支部総会報告                |                              | 124 |
| 10. 役員会報告                     |                              | 130 |
| 11. 支部役員                      |                              | 135 |
| 12. 支部会員名簿                    |                              | 136 |
| 13. 交換機関誌                     |                              | 144 |
| 14. 通信欄                       |                              | 145 |

平成9年9月

日本気象学会 北海道支部

# 社団法人 日本気象学会北海道支部規約

S32.7.11 制 定  
S40.8.7 一部改正  
S45.6.24 一部改正  
S53.5.30 一部改正  
S62.6.10 一部改正  
H 2.6.19 一部改正  
H 5.6.11 一部改正

- 第 一 条 本支部は社団法人日本気象学会北海道支部という。
- 第 二 条 本支部は事務局を札幌市中央区北 2 条西 1 8 丁目札幌管区気象台内におく。
- 第 三 条 本支部は北海道に存在するすべての日本気象学会会員によって構成される。
- 第 四 条 本支部は日本気象学会の定款の範囲内で事業を行なうが、特に支部会員の研究の奨励推進、ならびに相互の連絡につとめることを目的とする。
- 第 五 条 本支部は前条の目的を達成するために講演会ならびに学術的会合の開催その他本支部の目的にかなうと思われる事業を行なう。
- 第 六 条 本支部の事業年度は毎年 4 月 1 日にはじまり翌年 3 月 3 1 日に終る。
- 第 七 条 本規約の実行に必要な細則は支部理事会の決議によって別に定める。支部理事会は支部の理事および当支部に籍をおく全国理事によって構成される。
- 第 八 条 本支部に次の役員をおく。  
理 事 7 名（内支部長 1 名、常任理事 4 名）  
会計監査 1 名  
幹 事 6 名
- 第 九 条 理事および会計監査は支部会員の互選によって定める。
- 第 十 条 支部長および常任理事は理事の互選によって理事の中から定める。
- 第 十 一 条 幹事は支部長の指名による。
- 第 十 二 条 支部長は本支部を代表して会務を総理する。支部長に事故ある時は、支部長があらかじめ指名した常任理事がその職務を代行する。
- 第 十 三 条 理事および幹事は本支部の会務を行なう。会計監査は本支部の会計を監査する。
- 第 十 四 条 役員任期は 2 年とする。但し重任は妨げない。理事および会計監査は任期満了後でも後任者の就任するまでその職務を行なう。
- 第 十 五 条 総会の開催、議決等は日本気象学会定款に準じて行なう。

## 北海道支部役員選挙規則

- 第 一 条 理事および会計監査選挙の投票日は理事会で決定する。
- 第 二 条 支部長は投票締切日の 1 5 日前までに投票用紙および支部会員名簿を会員に配布し周知を図るものとする。
- 第 三 条 投票は無記名、文書投票とし理事は定数内の連記とし、会計監査は単記とする。
- 第 四 条 有効投票により投票の多い順に当選とする。投票数が同じものが 2 名以上出た場合は年長順とする。
- 第 五 条 理事および会計監査に欠員を生じた場合は、理事会の推薦によって補充する。
- 第 六 条 開票は常任理事立会のもとに行なう。
- 第 七 条 開票の結果は理事会に報告し、「細氷」または「天気」に掲載する。

## 支 部 長 換 拶

日本気象学会北海道支部長をお引き受けしてから4年目になりました。昨年度の支部の行った事業の主なものをあげて見ますと、総会、2回の支部研究発表会は例年通りに行われましたが、道外からの研究者による特別気象講演会は平成8年6月のイギリス、マンチェスター大学の Saunders 博士による「雷雲内の電荷発生過程の研究の現状」、平成9年2月のドイツ、GKSS 研究センターの Raschke 教授による「レーダーと航空機による雲内粒子の観測」がありました。第14回夏季大学講座「新しい気象」では、「雪崩」、「巨大彗星がやってくる」といった、雪氷学、天文学の話題も含めました。また、地方気象講演会は、滝川市の全面的なバックアップをいただいて市役所大会議室で「降雪のしくみ」、「グライダーと気象」、「オゾン層破壊」、「北竜町地震」といった地元にも直接関心のある話題で行われ、152名の参加者がありました。「細水」は予定どおり第42号が刊行され、内容の充実した支部活動ができたと思っております。



今年はずすでにご承知の通り、10月7～9日に全国（秋季）大会が北大の4会場を使って行われる予定です。昨年末に発足した実行準備委員会を今年度から実行委員会とし、準備に専念しているところです。そのため、地方気象講演会はとり止め、支部研究発表会も1回だけとなりますが、その他の事業は例年通りを計画しております。

全国大会は、5年に1回の支部の持ち廻りですので、この機会に是非多くの会員の皆様の参加を希望すると同時に、積極的なご支援をお願いいたします。

日本気象学会北海道支部  
支部長 菊地 勝 弘  
(北海道大学大学院理学研究科)

## 一解 説一

## 米国および英国の気象サービスの動向

札幌管区気象台 古川 武彦

## 1 はじめに

天気予報を中心とした気象サービスは、世界気象機関の枠組みの下、現在百数十を越える国々で実施されており、その組織や運営形態は、それぞれの国の歴史や風土、社会経済体制により異なっている。近年、日本を始め各国で組織や運営形態の見直しが行われているが、なかでも米国は組織全体の近代化を主として技術的観点から、英国では運営形態の独立採算化を目指したもので、それぞれ趣が異なっている。ここでは両国における気象サービスの動向を中心に、その概要を述べてみたい。なお、このうち英国における記述については、全面的に気象庁の長坂昂一氏による1996年の調査レポートの引用や抜粋によった。記してお礼を述べる。

## 2 米国の気象サービス

米国気象局は、数年前から法律に基づいて、ドップラー気象レーダーや地上気象観測の全面的自動化などによるメソ現象の監視手段の抜本的強化と地方組織の再編成などを行い、気象サービスの高度化を目指す「気象サービスの近代化とそれに伴う組織の再編成 (Modernization and Associated Restructuring of the National Weather Service)」計画を段階的に進めている。現在、その計画実施の最終段階にあり、官署ごとにも新形態へ移行中である。この近代化の背景には、新技術の導入以外に、先進各国で行われている国家財政の建て直しと政府組織のリストラの米国版ともいえるべき、米国政府と議会の要請がある。

## (1) 気象災害の特徴

米国の気象サービスの枠組みとその近代化計画の戦略を理解するためには、先ず自然災害の特徴を見ておく必要がある。米国の近年の気象災害は、年間平均で見ると犠牲者が約400人、負傷者が約3,000人規模であり、その主因は、落雷、トルネード、サンダーストームに伴う風、突発的出水や洪水である。土砂崩れやハリケーンに伴うものは非常に少ない。資産に対する損害は洪水およびハリケーンによるものが桁違いに大きい。年によるバラツキが非常に大きい。

トルネードは最も劇的な現象の一つで、米国全体の年間の平均発生数はおよそ1,000個である。また、トルネードや雷雨あらしを対象とする警戒 (watch) の回数は約500回、警報 (warning) は約7,500回に達してい



る。トルネードおよび洪水に伴う犠牲者の約半数が、車両や移動型住宅で占めているのは米国の大きな特徴である。米国において最も大きな人的・物的被害をもたらす気象は、激しい対流性のメソスケール現象に伴うものであり、我が国での最大の被害が大雨に伴う土砂崩れに起因するのに比べて大きな相違がある。

### (2) 気象サービス組織の変遷

米国における気象サービスの開始は、1870年に陸軍の通信隊の中に気象サービスを整備することが議会で認められ、FORECAST と呼ばれるものが発表されたことに遡る。1890年に民生用としての気象局が農務省に誕生した。その後、気象局は1940年に商務省に移管され、軍は独立に気象センターを設立した。1967年に気象局 (Weather Bureau) は環境科学サービス庁 (ESSA: Environmental Science Services Administration) の傘下で National Weather Service と改称され、ESSA は1970年に現在の米国海洋大気庁 (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) になった。1988年にフライディ (Friday) が米国気象局 (NOAA/National Weather Service) の局長となり、以下に紹介する近代化8か年計画を発表し、実施に移して来たが、同局長は、予算案および米国気象局の将来計画の方向づけを巡って NOAA のベーカー長官と対立し、1997年6月末更迭された。

### (3) 近代化計画の目標と戦略

気象サービスの近代化と組織の再編成 (以下、単に近代化という) は、気象学と水文学における革新的な科学技術に基づいて、シビアウェザーおよび洪水を対象に、よりタイムリーで正確な警報及び予報を提供することを目的としている。この近代化計画は、シビアストームやトルネード、洪水のような短時間で発生・発達する現象に対して、これまでは機器や技術の陳腐化により、迅速な観測や解析、情報の伝達が出来ず、しばしば現象が起こってしまってから警報を出さざるを得なかった大きな反省に基づいている。近代化によって社会に還元されるべき利便性が以下のように具体的に示されている。

- \* 多くの死傷者が発生し財産に損害を与える、ハリケーンと冬季の嵐についての警報と予報の改善
- \* 死者数が一番多い原因である突発的出水 (Flash Flood) に関しての、早期かつ信頼性のある警報
- \* 雷雨あらしとトルネードについての、早期より信頼性のある正確な警報；トルネード警報については、現在は10分前発表が現業化されているのを30分前にリードタイムを上げる。
- \* 人口の増加しつつある都市部、河川流域や沿岸域の住民に対する洪水警報の改善
- \* シビアウェザーに対する誤った警報を無くし警報サービスに対する住民の信頼を確保
- \* 10日先までの中期予報の改善とそれに伴う農業、交通、他の経済活動への貢献

この他、近代化を進めるべき大きな動機として、ここ2、30年における大気科学を中心に、特にメソスケール現象についての観測や知見が大幅に進んだこと、現在の観測機器類が旧式で陳腐化し人手を要するシステムで、気象レーダーなどは第2次大戦から派生した1940年代の技術に基づいたものであり、その保守の負担が大きいことも挙げられている。

近代化計画は次の二つの段階を経て達成される。

第1段階は、先進的な新しい観測システムの導入であり、その特徴はドップラーレーダー、ウィンドプロファイラー、自動地上気象観測システムの導入である。

第2段階は、先進的な情報処理、通信システムの導入であり、予報官の必要とする手段の提供と支援データの取得・集積、解析、解釈の高度化とシビアーストームを中心とした信頼性のある予報の提供である。これらは、必然的に従前の有人観測の自動化や気象サービスおよび組織の変革を伴う。

#### (4) 新しい観測・処理システムの導入

近代化計画で整備される新しい観測システムについて見てみよう。

「ドップラーレーダー」 近代化計画の最大の武器がこのドップラーレーダーと言っても過言ではない。これは次世代ドップラーレーダー (NEXRAD) として待望されたもので、業務上 WSR-88D と呼称される1988年仕様の気象レーダーである。この新レーダーが、後述する地方の新気象台に1台ずつ整備される。予報官はレーダーのドップラー機能により設置点から半径230km 以内の風の場の把握が可能になり、何よりも擾乱の“内部”を見ることが出来るようになったことのメリットは大きい。当然、擾乱の早期検出や特に擾乱の回転性(トルネードやメソサイクロン)の有無を見分けることが出来、これらは明らかにシビアーストームに対する警報などの迅速化につながる。ドップラーレーダーの監視・解析のメニューは数10項目にのぼる。気象局は、地方の予報官がドップラーレーダーを有効に使いこなすための全米の研修センターをオクラホマに設け、担当のすべての予報官に研修を課している。

一方、運輸省の連邦航空局は空港専用の別の仕様の空港ドップラーレーダー (TDWR : Terminal Dopplar Weather Radar) を主要空港約50カ所に整備している。この TDWR は、航空機の離発着に危険を及ぼすダウンバーストと呼ばれる強烈な下降噴流を監視し、ダウンバースト自身や風の強いシアアの存在を、管制官がリアルタイムで直接パイロットに伝達し、警告を与えるシステムである。

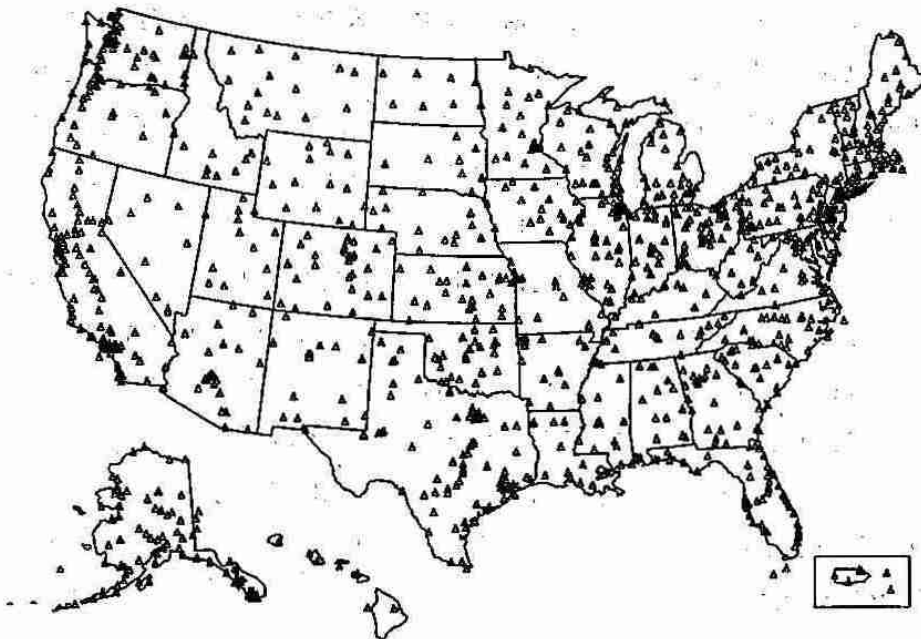
さて、NEXRAD 展開の全体計画では、降水強度の監視半径460km、ドップラー風の監視半径230km を持つ、ピーク出力750kv、波長10cm のドップラーレーダー161基 (海外領土などを含む) を設置する。展開年次と設置地域で注目されるのは、整備の優先順位をシビアーストームの発生地域と人間の居住地域から決めていることである。WSR-88D のデータは、誰でも電話回線を通じてパソコンでリアルタイムで入手が可能で、種々の接続業者が活躍しており、そのためのソフトもある。

「自動地上気象観測システム (ASOS : Automated Surface Observing System)」 米国における気象観測に対する基本的考え方は、気象局が観測機器・方法・研修などの標準を保持し、それに基づいて関係機関との協力をを行うことである。

気象局ではこれまでは約240か所の気象施設で有人の地上気象観測が行われて来たが、人手による観測を情報処理の分野に投入する必要があるために、新たに全体で1,700か所にのぼる ASOS を導入する。図は ASOS の展開図を示す。近代化計画では、気象局の有人の観測 (240か所) と航空局の有人の観測 (約200か所) 部分が、自動化され ASOS に移行されることになる。ASOS 整備の特徴は、3つの部局 (気象局、連邦航空局、海軍) の協同で行われていることと、設置地点が大部分空港である点である。ASOS の観測要素は、気温、気圧、風向・風速、雲量等で、表にその概要を示す。自動的に観測が行われ、データは気象台および空港の管制塔に直接に伝達される。また、コンピュータで作られた音声により、この天気情報が自動的にパイロット向けに放送される。(注) 日本のアメダスは約1,300地点で、このうち風向・風速、気温、日照時間、降水

ASOS (自動地上気象観測システム) 観測要素の仕様

| 要素           | センサー           | 測定範囲                | 精度                       |
|--------------|----------------|---------------------|--------------------------|
| 雲高           | レーザーシーロメータ     | 100~12,000フィート      | ±100フィートまたは5%のうち大        |
| 視程           | 前方散乱計          | 1/4~10マイル           | 1/4~11/4マイル: 10マイルで±2マイル |
| 現在天気<br>降水強度 | 降水判別機          | 軽、中、重度の雨または雪、みぞれの検出 | 0.01または10%のうち大           |
| 着氷発生         | 振動体            | 1時間当たり0.01インチ以上の高まり | 1時間当たり0.05インチの降水の場合99%   |
| 視程障害         | 露点湿度、視程計などから計算 | 霧、煙霧を通報             | 視程が7マイル以下の場合             |
| 周辺気温         | 抵抗温度計          | -80° F ~ +130° F    | 0.9° F ~ 1.8° F          |
| 露点湿度         | 冷却された鏡         | -30° F ~ +86° F     | 1.1° F ~ 7.9° F          |
| 気圧           | 圧力セル           | 16.9 Hg ~ 31.5Hg    | ±0.01 Hg                 |
| 風向           | 矢羽             | 0 ~ 359°            | ±5° (5ノット以下)             |
| 風速           | カップ型風速計        | 0 ~ 125ノット          | 2ノットまたは5のうち大             |
| 降水量          | 加熱型転倒ます        | 0 ~ 10インチ/時間        | 1時間合計で±0.02インチまたは4%のうち大  |



ASOS (自動地上気象観測システム) 展開図

量の4要素観測地点は、約800カ所で、他は降水量のみである。両国の比較には、米国の面積が日本の約25倍であることを考慮する必要がある。

観測要素と形態で特に注目されるのは、人手による目視観測についての戦略で、従来の目視種目の単なる自動化ではなく、新たな業務を睨んだ天気情報の選択や代替手段の追求がなされている点である。一番の特徴は、雲と視程の観測であろうか。雲の観測は、レーザー光線を使って雲底高度を計るシーロメータによる地上からの観測データと、気象衛星による宇宙からの観測データを併用して行っている。シーロメータは本来、約4,000m以下の、しかもポイントでの瞬間的情報で、航空機の離発着向けに開発された機器であるが、そのデータの時間平均により雲の空間的広がりに換算している。また、視程の観測は前方散乱計を利用しており、観測ポイントにおける散乱計から得られる大気混濁度と従来の人手によるものとの比較観測の結果から、アルゴリズムが作られている。その他、50センチ程度の狭い空間を過ぎる雨/雪により、その間の赤外線が減衰することを利用した雨雪判別強度計により、降水が雨か雪かの区別と、それらの強度が観測される。従前の人手による観測とASOSによる観測との相違点とデータの利用上の注意事項などのわかりやすいマニュアルが、航空関係者などに配布されている。なお、トルネードや雷雨あらしの常襲地域などでは、それらの現象を備考欄で通報するよう人的な配置が強化されている。

ASOS データは部外のユーザーにも提供されており、その品質管理は測器の自己校正機能によるほか、数か所の気象中枢における広域的な品質のモニター、ワシントンの中枢での品質管理の三段構えとなっており、さらに部外の個々のユーザからの無料電話による苦情の受付機能を持っている。近代化ではASOSの導入により約240か所の地方の有人の気象官署は半数以上が無人化され、118か所に集約される。

「ドップラーウィンドプロファイラー」 米国およびカリブ海諸島には、現在約100か所のレーウインゾンデ観測サイトがある。それに加えて現在29か所にマイクロウェーブを利用して大気中の風を3次元的に測定するウィンドプロファイラーと呼ばれる測器が、中西部15州で導入のための評価が行われている。大気中の数センチ規模の小さな乱れが、相対的により大きなスケールの流れとともに存在していると仮定して、鉛直および斜め上空方向に発射される400メガ帯の電波のドップラー効果により、3次元で風を計るものである。約15km上空まで観測され、毎時データとして全米の気象官署へ送られ、予報の作成などに使われるほかワシントンの中枢などで数値予報モデルや実況監視に利用される。

「高度会話型気象処理システム」 地方の気象台における現在の情報処理システムは、1970年代に整備された各種作業の自動化を目指したミニコンシステムであるが、近代化計画でAWIPS (Advanced Weather Interactive Processing System) と呼ぶマン・マシン会話型の処理システムへと転換される。予報官は、このシステムを利用して、莫大な観測データや予測モデルからのデータ抽出・種々の気象要素との重ね合わせ・予報との照合を行い、最も意味のある情報を迅速に表示することが出来る。AWIPSを通じてワシントンの中枢と地方の警報及び予報を行う気象台とがリアルタイムでネットワーク接続される。さらにネットワークの一環として、AWIPSを通じてNOAAの種々の環境データが準リアルタイムで、NOAAデータのユーザや民間の気象及び水文サービスへ放送・配信される。定常的な情報やデータはAWIPSのNOAA-PORTと称される出口から、関係省庁や大学、民間気象事業者へ一方通行的に提供される。



### (5) 近代化による新組織

「これまでの地方組織」 気象局全体の総人員数はおよそ4,500人である。近代化以前の地方組織は、州を単位としてその中に三つの階層の気象台が存在していた。これとは別に、州をまたいで水理専門の気象台がある。これら地方組織は全体で約280か所である。

地方の気象サービスの中核をなす官署は、州を基本として管轄する気象台(WSFO: Weather Service Forecast Office)で、観測のほか、一般気象、海上、航空、森林管理(火災など)に関する予報などのサービスを行っているほか、警報サービスを行っている。全米のほぼ各州に一つあり、総数は52か所で職員は30人規模である。次に、WSFOの傘のもとに、州内に数か所の測候所(WSO: Weather Service Office)があり、通常は自己の管轄地域に影響を及ぼす局地的なシビアストームについての警報サービスを行っている。全体で約200か所である。一部のWSOでは限定的な予報サービスなども行っている。大部分のWSOでは地上、高層、レーダデータの観測・収集に携わっている。このほかに全体で約20か所の別種の測候所(WSMO: Weather Service Meteorological Office)があり、役割はもっぱら気象観測の実施と通報で、一般予報や警報の任務はない。WSOやWSMOの1官署あたりの職員数は10名規模である。米国のこうした地方組織の階層構造は、担当している面積の大きさは別にして、奇しくも現在の日本の地方気象台、一部の測候所(観測以外に予報も行う)、その他の測候所(観測/解説が主)という構造と同じである。

水文・水理サービスは、13の河川予報センター(RFC: River Forecast Center)があり、州を超えて単一または複数の水系の洪水予報や河川の水理関連の予報が実施されている。このうちWSFOと同じ場所に立地しているのは半数以下で、一般気象サービスとの連携が問題となっていた。

「新しい地方組織」 さて、地方組織の再編成の基本戦略は、①州規模を新たに数区に区分し、その管轄域内の気象サービスを責任を持ってカバーする新しい気象台を設けること、②同時に、その実現のためにドップラーレーダなどを新規に導入すること、③さらに、上記の観測および限定的な予報や警報などを行っている官署の観測業務の自動化と上級官署への集約を行うことなどが、パッケージとなっている。すなわち新しい地方組織は、上記の52のWSFOと200か所以上のWSOの中から選ばれた合計118の官署に、それぞれドップラーレーダ(WSR-88)を付置して、新たに気象台(WFO: Weather Forecast Office; 以下、新気象台という)として、新しい管轄区域内の予報や警報などの全責任を持つ。残った他の有人の官署であるWSOとWSMOの観測の機能は、原則として自動化(閉鎖)され、地上気象観測部分は前述のASOSへ組み入れられる。この再編成により、地方組織はこれまでの三階層(WSFO、WSO、WSMO)から、WFOという単層構造になる。この再編成により、予報や警報を行う官署が約倍に増え、予報官の定数も増える。

いずれにしても約150か所に近い有人の官署が最終的には看板を下ろし消滅する。なお、トルネード常襲地域でASOSに組み込まれた官署の一部では、有人による測器の保守のほかトルネードに対する目視通報の責務が残される。

### (6) 新気象台(WFO)の管轄区域と人員配置

新気象台は、州をさらに細分した管轄区域を対象に、気象衛星観測の傘のもと、それぞれ前述のドップラーレーダーを持ち、さらにASOSなどの新しい観測手段と国立環境予報センター(NCEP: National Centers

for Environmental Prediction) などからの種々の支援情報に基づいて、管轄区域内の予報・警報サービスについてのすべての権限と責任を持つ。

「管轄区域」 従来の管轄区域の分割は、地勢や気候学的な観点から、例えば〇〇盆地、××山麓地方などとしていたが、新気象台は地方の行政の基本単位である郡(County)をいくつか束ねたものである。ちなみに新気象台はテキサス州などの大きな州では9か所、小さな州では1か所である。日本との比較でコロラド州をみると、人口は約300万人、東西約700km 南北約400km で州の西半分以上がロッキ山脈などに覆われ、また山麓や平原ではシビアストームが多く発生する地域であるが、この州一つで日本の東北地方がすっぽり入る位の大きさである。近代化では、この州全体をこれまでの6か所の官署組織から3か所の新気象台で受け持つ。新気象台の管轄区域で注目されるのは、相当の州で州境を越えて(日本で言えば、県をまたいで)設定されている点である。また、近代化計画では予報および警報が郡単位となったことから、相対的に郡の数が多く、また1郡あたりの面積が小さい中部から東部や太平洋側では、予報サービスがきめ細くなる。特に警報の運用では、人口が稠密で社会活動の活発な地域に重点が置かれているように見える。

「人員配置」 人員の標準的配置は、新気象台あたり23人をベースに、官署の管轄規模、予報の種類などに応じて増減が考慮されており、画一ではない。最大は32人、最低は18人となっている。13の新しい洪水/水理予報センター(RFC)は、全て適当な新気象台に併置されて、一般気象サービスとの連携が図られる。当然、洪水/水理予報センターが併置される所などでは予報官などが多い。新気象台の人員配置の特徴は、予報官チームなどが配置されている官署数をこれまでの52官署から118官署へ拡大したことのほか、いくつかの新しい顔を持っている。

要員配置の一つの目玉は、各気象台に科学・運用官(SOO: Science and Operations Officer)といわれるスタッフを新しく設けたことである。その役割は、技術的統括とスタッフに対する科学的助言で、これは気象台の保有する全てのプロダクトを提供するサービスを行うに当たって、本来あるべき姿を追求した成果である。具体的には、研究面での新しい科学技術や技法に常に注目して、その成果を予報や警報サービスに実用化するための発議、主導、協同作業を行うことである。また、SOOには、近隣の大学との連携やスタッフに対する訓練及び専門能力の開発が期待されている。この他、これまで観測に従事していた技術者の予報官などへの職種転換を意識した、前述の新しい観測機器類の保守・管理ポストや種々の新しいデータの品質管理ポストの新設などが注目される。

近代化計画の遂行には、予報官のメソ現象に関する解析や予報能力の具備が最も重要で、またその背景として既存の予報官の大気物理学やレーダー気象学についての知識の向上、さらに新たに観測技術者から予報官への職種転換に際しての研修が必要とされている。このため気象局は、①現在の予報官に対する教育と研修、②実用的部門と研究部門との協同、③将来気象界に向かう大学の学生に対する教育および専門的知識の付与などを柱とするプログラムを提案し、これに応じてコロラド州ボルダにある国立大気科学研究所(NCAR: National Center for Atmospheric Research; 大学の共同利用施設)は、COMET(実用的気象、教育および研修のための協同プログラム)と呼ばれるパソコンを利用した自習/研修システムを開発した。ソフトはCD-ROM ベースで、大気科学やレーダーなど殆どあらゆる分野をカバーしており、各項目毎に第一線

の専門家による講義や写真・図表類がビデオで表示され、さらに各章の終わりごとに試験問題がある。受講者はクリックで答えると自動的に採点され、成績が悪いと、「あなたは第何章に戻り、再び勉強しなさい」などの助言がなされる。1課程あたりの学習時間は数時間程度である。COMETはNCAR所内での教室を利用した教育のほか、通信回線を介した遠隔地からの利用も可能である。もちろん単独機材としても使用できる。最近、外国機関での利用も促進されているようだ。気象局では、前述のオクラホマでの気象レーダーのような業務に直結した研修以外に、この研修プログラムも利用している。この他、特定の大学と連携した研修もなされている。

### (7) 気象予報の支援および警報の体系

近代化後の基本的な支援の系列は、ワシントンの本局はじめ地方の数ヶ所に置かれた支援センターと、実際に予報サービスを行う地方官署(新気象台)の二つの要素(階層)から成り立つ。新気象台は、以下に示すように支援センターからの種々の情報を基礎に、管轄域内の予報や警報などのサービスを行う。

「予報支援センターの役割と支援形態」ワシントンにある国立環境予報センター(NCEP)が、気象局が全国で行なう種々の予報サービスの支援的役割を果たしており、各センターの行政組織上の元締めとなっている。NCEPは、環境モデリングセンターを中心に、合計九つのセンターから成り立っている。各センターは、全球規模や総観規模の大気現象、トルネードなどのメソスケールの大気現象、ハリケーン、波浪など、現象の規模とそれらの社会への影響を考慮して、担当すべき対象(現象)を分担している。環境モデリングセンターは、日々の現業の核となっており、全球規模の14日以内の気象及び海洋の解析と予測、数値的気候予測を行い、他のセンターへの基礎情報の提供など中核的役割を担っている。

各(支援)センターの名称や機能などは以下の通りである。●水文気象予測センター：7日間以内の水理気象、●ストーム予測センター：24時間以内の災害をもたらす気象、●航空気象センター：2日間以内の国際・国内航空のための気象、●熱帯予測センター：5日間以内の熱帯気象、●国立ハリケーンセンター：5日間以内のハリケーン、●海洋予測センター：5日間以内の波浪など、●気候予測センター：2週間・毎月・季節などの気候、●宇宙環境予測センター：3日間以内の宇宙気象。

これらのセンターは、それぞれ担当の現象の推移を監視し、今後の見通しや予報とその解釈についての検討、必要な警戒体制とその根拠などを、チャートや平文で作成し、地方の気象台や関係の支援センターに伝達して、個々の気象台の実際の予報や警報サービスを支援している。これらの情報は「検討(ディスカッション)」と総称され、種類、内容、形式、作成する場合の他の支援部局との協同の方法、例文などが気象局のオペレーションマニュアルに事細かに記載されている。「検討」は予報作業の上からはガイダンス(支援資料)に位置づけられる。地方の気象台での実際の気象サービスは、予報官がこれらのガイダンスや予報を基礎に、実況とモデルの相違の検出、予報則の適用などの科学的判断を行い、予報を行う(予報文の作成と提供)体系となっている。このほか予報の難しい局面では、支援センターが直接に当該の気象台と連絡を取る。注目すべきことは、これら「検討」の内容は基本的には気象局内部の専門家向けのものであるが、同時に連邦航空局、連邦非常時管理局などの関連省庁、さらに民間気象事業者などにも伝達されており、それぞれの責任者が「検討」についての科学的理解の上で意志決定が出来る仕組みとなっている。

## (8) 気象警報の体系

警報等の情報提供の基本的考え方は、種々の現象により社会が受ける影響の度合い、現象についての予報精度や発現までの経過時間、さらに、被害の回避のための事前準備などを考慮して、国民に対して段階的に警戒を喚起し、適切な対策を促すよう意図されている。これらは、「多段階方式」と言われ、具体的には、以下のような数段階（階層）から成りたっており、一般に、時間的にはこの順に発表される。

「見通し (Outlook)」：見通しは、災害を起こし得る気象や水象が発達するかも知れないことの指摘である。これは現象の襲来に備える対策に多大の準備時間を必要とする者に対して、情報を提供することにある。第1段階の情報と考えられる。

「警戒 (Watch)」：警戒は、災害を起こしうる気象や水象の来襲の危険性が明らかに増大したが、なおその発生や場所、時刻などがはっきりしない時に使用される。これは公衆が種々の計画を実行に移す際に、十分な準備時間が得られることを意図している。

「警報 (Warning)/注意報 (Advisory)」：警報は、生命や財産に脅威をもたらす条件下で使用され、一般に、災害を起こしうる気象や水象が、現に起きているか、切迫しているか、あるいは発生する確率が極めて高い時に、発表される。

「注意報」は明らかな不具合をもたらすか、または注意が実行されなければ生命や財産に脅威を与えかねない条件を対象とするものである。警報の次位と考えられる。

米国の警報はこのように実況的色彩が極めて強く、したがってハズレは少ない、むしろリードタイムが問題となる。また無視すればそれこそ命が危ない。

以上の段階のほかに、警戒や警報の期間中に、今後数時間内の気象および水象についての情報を伝える「短時間予報」や実況を主にした「NOW」と呼ばれる予報がある。さらに、警報等の発表状況、現況、必要な行動などの情報である「説明」がある。

警報等の対象となる現象と警戒の程度を見ると、特徴的なことは、予め警報現象と注意報現象が分けられており、したがって先ず注意報、次いで警報という階層構造ではないことである。また、「警戒」段階は、ハリケーンやトルネードなどの最重要な警報現象にのみ設定されており、同じ警報でもブリザードや砂塵あらしなどにはないことである。

(注) 気象庁の警報・注意報の災害想定は、米国とほぼ同じであるが、運用面では異なり、大雨や大雪の場合、先ず「注意報」を発表し、次いで現象の推移により「警報」となる場合が多い。また、警報や注意報に先だって「低気圧に関する情報」、さらに警報の期間中に「記録的短時間大雨情報」などの補完的「情報」も発表している。

次に、「見通し・警戒・警報」などの作成・発表官署は、対象となる現象に依存しており、前述の支援センターと地方の気象台が分担している。ちなみに、トルネードなどのシビアストームについての「警戒」はストーム予測センターで行い、個々の「警報」は当該の気象台である。また、冬季ストームの「見通し・警戒・警報」は各気象台の責任である。ハリケーンについては、国立ハリケーンセンターなどの支援センターが「警戒」を、気象台が「警報」などを行う。「短時間予報」や「説明」などは気象台の仕事である。



### (9) 地方の新気象台 (WFO) のサービスと職務、勤務制

#### (一般向け予報/警報等)

・州 (State) 予報： 州域を対象とした48時間予報 (1日2回) と48時間以降5日先までの延長予報 (1日1回) (注) 複数の WFO のいずれかが州全体の主導権をとるかは未定とのこと。

・地方 (Zone) 予報： 郡を対象地域とする48時間先までの予報で、予報対象は、気象条件、降水の確率、最高・最低気温、風向・風速 (1日4回)。予報対象域の代表的な大きさは100km×100km であり、東部の地方などはより稠密である。なお、結果として複数の郡が同じ予報となる場合がある。

(注) 日本のこれに相当する予報は、いわゆる短期天気予報で地域的広がり、県をさらに1、2に細分したもので、1日3回発表である。

・地域 (Loca) 予報： 都市やその郊外地域を対象とした予報で、48時間の詳細な予報。予報要素は地方予報と同じで、地方予報に基づいて作成される。

「ナウ (NOW)」は、ドップラーレーダ観測などを武器とした近代化による新しい予報で、現象の開始時刻とともに、終止時刻が述べられているのが注目される。

・気象警報等： 一般には郡を対象に行う。

(火災予報) 5月初めから10月初めの間、午前および午後に、総観的な概況、地方予報、延長予報 (2日—5日)、6日—10日の見通し、火災気象観測レポートなどを提供する。その他、関係庁からの要請に基づいて、野生動物の保護、薬剤散布、山焼きなどの目的のため、スポット的な情報提供を行う。

#### (航空気象サービス)

米国は、航空が車と並んで主要な交通手段であり、定時運航が強く要請され、特にビジネスマンからは15分程度の遅延に対してもクレームがつくほどの社会である。したがって各飛行場で航空機の離発着時などの気象を予測する飛行場予報、および航空路上での雷や乱気流の予想である空域予報が極めて重要である。また、近年、着陸態勢にある航空機がダウンバーストに巻き込まれて墜落する事故も発生している。このため航空局は、気象局、大学と連携して飛行場周辺のこうした擾乱の検出手段の整備 (前出の空港ドップラーレーダー (TDWR)、低層風観測網など) とパイロットに対する警報伝達体制の確立を目指している。米国では、前出のように航空気象センターが空域予報などの支援を行い、一般の各気象台が航空機のための飛行場予報も行っている。また、航空局の管制塔に対する情報提供を行っている。しかしながら、一般の気象台職員が直接に個々のパイロットに対してブリーフィング (気象状況説明) を行うことは禁止されており、ブリーフィングは航空局の担当となっている。ただし、特定の気象台では、ブリーフィングを行っている。

(注) 日本では、気象サービスの主務官庁は気象庁であり、予算は一般会計で支弁されている。ただし、航空気象サービスについては、航空測候所などの組織、庁舎、飛行場の気象測器整備など、全て空港整備特別会計により賄われている。また、ブリーフィングは航空気象官署の役割である。

「職務階級と要請される能力」 気象台長はじめ予報官や技術者など各職種の責任範囲、必要な学歴や資格・経験、給与などが事細かく定められている。

気象台長には、個々の気象サービスに関する実質的な管理や職員の管理は勿論のこと、特に外部との積極

的な幅広い接触が要請されている。議会や州政府の議員とそのスタッフ、メディアの代表者、協同関係にある軍、航空局、非常時管理庁、環境保護庁などの省庁、州などの自治体、気象の影響を受ける重要な産業界が例示されている。また、学術社会、専門的な団体や市民グループも対象となっている。気象局のスポークスマンの側面が強調されている。「台長は、気象局の諸提案に対して、修正や付加を求めて反対を唱える人々からの極度の圧力にたびたび直面するだろうが、専門家精神と忍耐を持って当たるべし」と書かれているのは興味深い。気象台長には、気象及び水文業務に関連した理論と原理のマスターが必要で、一般的には大学の気象学コースの修士課程、または同等の経験が要請される。また、レーダー気象学についての基本的知識、日常業務で使用される種々のエレクトロニクスについての知識、計画の立案や人的管理についてのリーダーシップと知識などなど、非常に高度で広範な知識と能力が求められている。

一般の子報官（メテオロロジストなど）について見ると、要請される知識の守備範囲は極めて広く具体的である。①大気力学、メソ気象学、コンピューターによる客観解析・数値予報の利用を含む高度の理論気象学 ②予報現場における経験と訓練または数年間の予報経験と同等の高度な応用気象の知識 ③水文学および水理学のほか予報領域内の河川の諸特性の把握 ④飛行場予報 / 航空気象予報の作成、航空局のスタッフがパイロットへのブリーフィングを行うためのガイダンスの作成、航空局の管制塔や有人気球、グライダーなどの特殊な航空ユーザに対する助言 ⑤ハリケーン、沿岸の洪水を含む海上気象の高度な知識 ⑥農業気象、火災気象などの応用気象の知識、⑦気象局のオペレーショナルな手続きと、気象・洪水予報や特殊目的の製品に関係する種々のガイダンスに関する深い知識、⑧ドップラー気象レーダーの複雑な機能の解釈と利用などを含む、データ処理に関する複雑な電子機器類に関する知識 ⑨効果的な文章や話術などのコミュニケーション能力などが、列挙されている。上級の子報官は、予報当番チームのリーダーとして、1名の一般予報官と1名の水理気象技術者を率いて業務を推進し、当番中に起こるかもしれない応援者の手配や緊急事態に対応する優先業務の決定などの能力が求められる。

新気象台には、最低1人から数人の電子工学技術者と、1名の電子工学・システムアナリストが配置される。対象とするシステムは、ドップラー気象レーダ、高層観測システム、通信システム、ASOS、水理観測システムであり、これらの中から担当が割り当てられる。ちなみにASOS担当の技術者は約20か所を受け持つ。

「勤務制」 勤務制の原則は、1日24時間を0時—8時（早朝）、8時—16時（日勤）、16時—24時（深夜）の3つの勤務時間帯に区分し、通常5班または6班による交替勤務でカバーしている。予報官の交替勤務の基本ローテーション表に従って、ある1日を見ると、第1班が早朝を、第2班が昼間を、第3班が深夜を担当し、4、5班は明番や非現業勤務と言う具合である。特に、驚くべきことは同じ勤務が何日も連続することである。これを例えば第1班に着目して時間軸で見ると、日勤を連続で4日間続けた後に2日の休み、次の日から早朝勤務を連続で7日続けた後に3日の休みと言う具合である。この勤務制の利点は、担当予報官が1週間にわたって継続して現象をフォロー（予報とその検証）出来る点であろう。日本の気象庁の標準の現業勤務制は、日勤（8時台—16時台）、翌日が夜勤（16時台—8時台）、明番、休み、再び日勤と4日サイクルが基本であるのと比べ大きな違いがある。これらは午前0時の交代が可能な住環境や車社会と、聞き漏

らしたが、早朝勤務や深夜勤務を7日間連続するだけの体力とその方が人体の適応能力上合理的とする考え方、およびこのような勤務制を許す社会的慣習に支えられた米国ならではのことと思われる。

次に各時間帯毎の人の配置を見る。いずれの時間帯も通常2人の予報官（総観気象担当とメソ気象担当）がカバーしている。昼間の時間帯にのみ、さらにシビアーストーム担当、火災気象担当、渉外担当が加わる。夜間はまた2人になる。

（注）近代化計画の標準配置表を見ると、この他に水理担当の予報官一人が付くように見える。

これらの配置は、社会活動の活発な昼間についての情報提供を重視するなど、業務の繁忙に応じた職員配置を当然視する米国流の現れであろう。さらに、予報官などの仕事の時間的密度についてみると、前記の種々の一般向け予報や警報、飛行場予報などとそれらの随時の修正、自己の気象台(WFO)の提供すべき「検討」の作成、ウェザーラジオ(後述)向けの対応などなど、カバーする仕事が多岐にわたり、また定型作業も頻度が高いため、仕事の時間的密度は極めて高い。

「気象情報の提供媒体」 気象情報の一般ユーザへの伝達媒体として注目すべきものは、各WFOが自ら放送するNOAAウェザーラジオ(NWR)であり、これは気象局の直営である。NWRは連邦政府の一員である気象局の正式な「声」であり、逆に視聴者からみると実質的に気象局または気象局のサービスそのものと認識されることから、最も重要な手段と道具に位置づけられている。NWRは、放送サイトから半径約60kmをカバーする160メガ帯のFMラジオで、24時間運用である。気象のほか、河川、海上の気象状況を一般および特殊なユーザグループに常時伝え、さらに警報や警戒事項を提供するのが目的である。これらは予報官の肉声によりテープに録音され、毎時に更新され、5分おきくらいに反復放送される。予報官は主要地点の気象などの実況をモニターし、適切な天気概況などを作成し、警報が出されている場合は当然それを最優先させる。トルネードや雷雨あらし、突発的出水などが発生している場合は、頻繁に更新される。ドライバー、キャンパー、スキーヤーや釣り人達にも適宜注意が喚起される。米国本土で約350か所に設置されており、トルネードや津波などに対する緊急警報用のシグナルの送信機能も持っている。このウェザーラジオと言う媒体は、広大な国土を持ち、車が主要な交通機関となっている米国ならではのシステムと考えられる。

気象情報の民間への提供媒体で、もう一つ紹介しなければならないのは、民放テレビの「ウェザーチャンネル」である。手慣れた愛想の良い気象キャスターが登場し、常時、気象の実況や予報などの解説を行う。内容は、キー局の支援の下、グローバル/全米/複数の州/市規模など階層的に行われ、非常にわかりやすい。異常気象時には警報や警戒状況が織り込まれる。内容は頻繁に繰り返され、適宜更新されるから、ウェザーチャンネルをひねりさえすれば常に最新の気象情報がある感じである。適宜、トルネードの成り立ちや防災上の注意点などの啓蒙、解説も挟まれる。当然コマーシャルもある。

「非即時データの提供原則」 業務の優先度と関連して、気象台の行う過去の観測値などの非即時のデータ提供についての政策に触れておこう。まず、何人に対するもデータの複製(コピー)業務は、副次的である。また、非即時データについての電話による照会には応じないこと、また、非即時データの照会は来訪または郵送によることが原則となっている。

### 3 英国の気象サービス

先ず、英国の気象サービスの変遷を見てみよう。日本では江戸時代の末期に当たる1854年に、イギリスの当時の貿易省の中に「気象局」が創設されて以来、英国の気象サービスは約140年の歴史を持っている。その後、1914年に国防省の三軍がそれぞれに独自の気象業務の部局を新設し、1920年に至って、貿易省「気象局」は国防省の空軍のもとに統合された。これらの統合は、第1次世界大戦の勃発と関係があるように推察される。その後、1964年に国防省直属となった。1984年には「気象局」の中に、一般向けの気象サービス以外に個別的な気象サービスを担当する部局が生まれた。この動きはさらに加速され、1990年「気象局」は、「エグゼクティブ エージェンシー」と呼ばれる、人事管理や予算執行権限の局長への大幅委譲や運営経費の一部を営業活動収入で賄う機関に格付けされた。さらに、1996年からは「トレーディング ファンド」と呼ばれる、独立採算による運営形態に移行している。個別的な気象サービスと政府機関向けなどの気象サービスが殆どであるが、気象局の組織の大元が国防省であること、さらに民間的経営という意味で、英国の気象サービスの運営形態は、日本や米国などの他の主要国と根本的に異なっている。

#### (1) 職員数と官署数

英国は、日本と同様に周囲を海に囲まれており、国土の面積は24.4万平方 km と日本の約3分の2である。また、人口は約5,500万人で日本の約半分である。気象局の所掌業務は、日本と異なり、いわゆる気象サービスであり、地震・火山業務および海洋観測業務は別の機関の所掌である。英国気象局の過去2会計年度（4月から翌年3月まで）の職員数の内訳を以下に示す。

| 「職員数」   | (1994年度)    | (1993年度)    |
|---------|-------------|-------------|
| 総数      | 2 3 9 8 (人) | 2 5 0 2 (人) |
| 基幹職員    | 1 9 5       | 1 9 7       |
| 科学官     | 1 7 1 1     | 1 7 8 8     |
| 技術職員    | 1 5 9       | 1 6 7       |
| 事務職員    | 3 0 7       | 3 2 0       |
| 現地雇用民間人 | 2 6         | 3 0         |

なお、「エグゼクティブ エージェンシー」から、1996年の「トレーディング ファンド」への移行に際して、組織の改革と早期退職者募集が行われ、約100人の削減が行われた。また1995年3月末の実員は、2,323人である。

#### 「主要官署の配置状況」

中央組織 本部（ブラックネル）、気象研究所（レディング）

試験技術支援センター（ブラックネル）、気象図書館（ブラックネル）、保健施設（ブラックネル）、研究施設（カーデントン、ファンボラフ、レディング、ブラックネル）

#### 地方組織

国防省兵たん所などの内の気象施設 5 6 カ所

気象・気候センター 2 0 カ所



空港観測所 20カ所

(うち9カ所は、気象・気候センターに併設)

高層観測所 13カ所(うち1カ所は空港観測所に併設)

保守技術センター 23カ所(併設)

## (2) 業務の運営形態

英国気象局の運営は、上述のように、かつての国営から「エクゼクティブ エージェンシー」へ、さらに「トレーディング ファンド」へと独立採算制へと変わった。

まず、「エクゼクティブ エージェンシー」を見てみよう。これは、1987年にサッチャー政権の下で、効率的かつ経済的な行政運営を目指して導入された「ネクストステップ計画」に沿って、多くの現業部門に導入されたシステムであり、その特徴は、次に2点である。

- 一 予算の確保や業務遂行の最終責任者は当該国務大臣(気象局の場合は国防大臣)としながらも、日々の業務運営にかかわる予算執行と人事管理を含む業務上の権限と責任を当該機関の庁に大幅に委譲する。
- 一 業務遂行にとって不可欠な経常経費(コア経費と呼ばれる)を中心とした機関の運営経費を、政府支出予算と合わせて営業活動収入により支弁する。

ちなみに、1994年現在では、英国政府の公務員総数(約53万3千人(うち約4分の1は軍人))の約60%の職員が、総数156の「エクゼクティブ エージェンシー」において、主として現業的な行政任務に携わっている。

気象局の「エクゼクティブ エージェンシー」の予算の項目・構成は、次のようになっている。

### (営業収入項目)

航空気象サービス

環境省からの委託業務/研究

個別商業サービスでは、

マスメディア、電力気象サービス、沿岸開発への気象サービス、航路気象サービス、陸上運輸への気象サービス、建設石灰、施工への気象サービス、気象鑑定・証明、環境行政への気象サービス、研修業務(教師、外国気象機関、民間業界など)

### (支出項目)

人件費、庁舎費、現業運営費、商業・研究・管理費、国際機関分担金など

気象局の運営に関わる政府負担分は、支出総額から営業収入を差し引いたいわば赤字分が補填されることになる。ちなみに、1994年度会計で見ると、日本円に換算して、支出総額が約240億円、営業収入が約97億円、したがって、その差額分の143億円が総運営支出である。この他、資産売却や利息課税金があり、最終的な国からの支出(国防省政府支弁)は約155億円である。総支出240億円に占める営業収入の比率は、約40%である。

次に、1996年4月から実施されている「トレーディング・ファンド」についてみてみよう。

英国気象局は、「エグゼクティブ エージェンシー」のもとで、国内のみならず海外においても個別的な気象サービス提供事業の推進に努め、その収入は毎年増加を続けて来た。1995年度に入り、外部機関に委託して実施された財務調査の結果によると、英国気象局の事業活動は、これまでのように国防省からの直接的な予算配分を受けなくとも、気象情報を必要とする他の政府機関との契約による収入や、国内外の企業、機関への気象サービスに対する収入により、全ての業務運営が可能と診断された。それまでの「エグゼクティブ エージェンシー」環境での事業の運営状況と、いわゆる小さな政府を望む英国の政治社会情勢の影響もあり、英国政府は、1996年4月から「トレーディング・ファンド」へ移行したものである。

すなわち、英国気象局の「トレーディング・ファンド」とは、従来からの個別情報提供サービスによる収入に加えて、気象局が気象情報サービスを受ける種々の政府機関（国防省を含む）と独自に契約して、情報サービスの対価としての収入を取得し、これらの収入源をもとに、全気象サービス業務を遂行するものである。

「トレーディング・ファンド」は、以下の特徴を持っている。

- 一 全ての業務活動経費を計数化し、その収支を明確にする（トレーディング）。
- 一 毎年の予算および事業計画について、政府及び国会の事前承認を必要とする。
- 一 所属機関である国防省からの政府予算による直接的な財政支弁はない。
- 一 気象局の所有する動産及び不動産の総評価価格の7%分の収益を、毎年取得する義務がある。
- 一 経営目標が不達成時は、その債務を翌年に持ち越す

この他、「トレーディング・ファンド」には、以下のような自立機能や権限が賦与されている。

- 一 職員の定数の変更を含む人事管理（職員の国家公務員の身分は不動）
- 一 独立経理責任（外部金融機関からの資金の借入れ、部外への投資、予算の繰り越し）
- 一 情報提供価格の需要者との折衝による決定
- 一 調査研究活動の受託
- 一 その他の営利活動（研修活動など）

この中でも、毎年7%の収益取得の義務付けは、「トレーディング・ファンド」の最大の特徴の一つである。このように利潤を一定に限定する規定は、気象局の運営目標を数量的に明確にすることに加えて、気象局が設備や技術開発へ過剰な投資を行うのを防ぐのに役立っている。また、政府現業業務の民間への移管の歯止めと、国内での民間企業による気象サービス活動との共存を可能とする論拠とも考えられる。

### （3）英国気象局の業務遂行の見通し

英国気象局の「トレーディング・ファンド」への移行は、サッチャー政権下の行政改革施策の一環に位置づけられ、その完遂に力が注がれているが、その前途は必ずしも明るくないようだ。特に、財政基盤の全てを、気象サービスの対価として取得する必要があるため、その機能の構築が不可欠である。

先ず、以下に例示する広範な政府組織といかに合理的なサービス料金の契約締結を行うかが問題である。

- 一 所属上部機関である国防省との気象情報提供契約

- 航空気象情報のために運輸省
- 一般社会への基本的な気象情報のために厚生省
- 農業気象情報のために農林省
- 教育活動用気象情報のために文部省

さらに、内外の同業者との競争のもとでの陸海運業界、電力業界、マスディアをはじめとする個別気象サービス提供業務のさらなる拡大等には多大の困難が予想される。ちなみに、個別気象情報サービスの要望分野は極めて広く、5万件規模に達している。その90%は一件あたり日本円で約3,400円以下の小口が占めており、残りの10%は、40-50カ国に及ぶ海外の顧客を対象としたものである。当然、このような顧客管理や市場の開拓に多大の手数のかかる個別気象サービス事業の推進には、前途には多くの困難が見込まれる。

余談になるが、昨年筆者が本庁にいた時、ハント英国気象局長官が予報現業施設も視察されたが、当時南海上にあった台風を見ながら、「英国の発表している台風の進路予報を気象庁ではどのように使っているか、この台風は我々のモデルでは、東京の東を北上する筈だ」とコメントがあり、さらに、使っていないとの当方の返事に、長官の帰国後早々に資料が送付されて来たのには、社長ばりの企業家精神を感じた次第である。

我々の関心があるのは、個別気象サービスの今後の伸びであるが、特段に有力な民間気象サービス企業が存在していない英国でも、純粋に民間との契約による個別気象サービスからの事業収入は、全予算額のほぼ20%止まりと見られているようだ。

このような独立採算性を前面に押し出した業務運営システムは、現業部門でのさらなる合理化、研究調査活動への投資の抑制、WMOを中心とした国際協同・貢献への姿勢の抑制などが懸念されるが、これらについては従前以上の努力を続けるとしている。「トレーディング ファンド」への移行についての職員の受け止め方は、自分たちから希望した訳ではないが、英国におけるここ15年内外の政治や社会環境を考慮すれば、これ以外に選択肢が見い出せないとされているようだ。

#### 4 あ と が き

米国の近代化計画の推移は、今後の我が国の気象サービスのあり方を考える際にも示唆に富む事柄も多いと思われる。米国の動向については、近く「天気」の解説でより包括的に紹介する予定であるので参考にさせていただきたい。筆者は、昨年の10月末に米国の中西部から西海岸を訪れ、テレビや新聞での気象情報に接しながら1週間に渡ってドライブし、途中コロラド州のデンバー気象台や近代化で新気象台に改組される同州のグランドジャンクション気象台などを訪れ、先に述べたAWIPS処理システムやASOSなどを見学した。近代化計画は順調に推移しているように感じたが、米国議会では財政赤字の削減策が大きな課題となっており、特に最近では気象局に対する予算の削減などが行われ、著名な学者や気象関係者がNOAAに削減の見直しを求めているなどの動きがあり、今後計画の手直などがあること、近代化計画が技術論のみでは進まない点に留意する必要がある。ちなみに、米国気象局では過去3年間で予算額を10%削減、人員を200名整理したとのことである。そして、冒頭に述べたように今後の方針をめぐる対立からフラディ局長の更迭にまで及んでいる。

英国の気象サービスに関連して、最近の政府の「行政改革会議」では、英国の行政システムにヒントを得たいわゆる「エージェンシー」などが議論されているが、気象庁の行っている気象サービスに限って言えば、日本の歴史や社会全体の風土を見るとき、その導入は余りにもギャップが大きいと言わざるを得ない。

#### 参 考 文 献

Friday, E. W, 1994 : The modernization and associated restructuring of the national weather service : an overview, Bull. Amer. Meteor. Soc., 75, 43-52.

NOAA/NWS, 1985 : Operations of the national weather service.

NOAA, 1992 : National implementation plan for the modernization and associated restructuring of the national weather service, fiscal year 1992, annual update.

NWS, 1995 : National weather service operational manual.



—発表会要旨①—

平成8年度第2回支部研究発表会要旨

日時：平成8年11月14日（木）  
場所：札幌管区気象台大会議室

|  |           |             |    |
|--|-----------|-------------|----|
| 1. サハリンの気象について.....  | 札幌管区気象台   | 金子 秀毅       | 20 |
| 2. 天気予想と台風.....  | 北見市       | 松木 昇        | 22 |
| 3. 十勝地方における強風現象の総観・局地気象的特徴.....  | 北大院・地球環境  | 遠藤 浩行・高橋 英紀 | 24 |
| 4. 近年の極渦の強化とテレコネクションの関係について.....   | 北大院・地球環境  | 大橋 康昭・山崎 孝治 | 26 |
| 5. 札幌におけるオゾン全量と紫外域日射量.....   | 札幌管区気象台   | 青山 隆・岸 隆幸   | 28 |
|  | 〃         | 安田 毅彦       |    |
| 6. 冬期季節風先端部に発生した対流雲の構造.....  | 北大院・理     | 勝俣 昌己・上田 博  | 30 |
|  | 〃         | 山田 広幸・菊池 勝弘 |    |
| 7. 雪雲から発生する下降流の形成過程.....   | 北大院・理     | 山田 広幸・上田 博  | 32 |
|  | 〃         | 菊池 勝弘       |    |
|  | 防災科研・気水圏  | 真木 雅之       |    |
|  | 防災科研・長岡   | 岩波 越        |    |
| 8. 北極圏における厳冬期の水蒸気、エアロゾル、雪結晶の研究（WANTS-ARCTIC；Canada）<br>その2-厳冬期におけるカナダ北極圏での霰形成の水収支について- | 北大院・理     | 井上 雄介・遊馬 芳雄 | 34 |
|  | 〃         | 菊池 勝弘・上田 博  |    |
|  | 秋田大・教育    | 梶川 正弘       |    |
|  | 大阪府教育センター | 佐藤 昇        |    |
|  | 北教大       | 桜井 兼市       |    |
|  | 東北大・理     | 早坂 忠裕       |    |
| 9. 大気中 SF <sub>6</sub> の定量法の確立とその応用.....   | 北大院・地球環境  | 土屋 秀二・田中 教幸 | 36 |
|  | 〃         | 角皆 静男       |    |
| 10. 都市大気中の COS、CS <sub>2</sub> の測定.....  | 北大院・地球環境  | 荒波 一史・田中 教幸 | 38 |
|  | 〃         | 角皆 静男       |    |

# 1. サハリンの気象について

金子秀毅(札幌管区气象台予報課)

## 1. はじめに

「サハリン」は、北海道のすぐ北に位置する南北約1000kmの細長い島である。近年、両島を結ぶ海・空の航路が開設され、人的・物的交流が活発になってきている。では、この北海道の隣の島・サハリンの気象はどのようになっているのだろうか、と疑問を抱き、本調査を行った。

## 2. 地勢について(図省略)

島の地形は、南北二条の山脈とそれに挟まれた低地帯・北部の低地に特徴づけられる。東をオホーツク海、西を間宮海峡に面し、アジア大陸とは最狭部で約7kmの近さに位置する。また、島の周辺海域の海流は、南西部が暖流(対馬暖流)に洗われている他は寒流に洗われている。

## 3. 気温の分布状況について(第1図左列)

年平均気温は+4~-2°Cで、緯度が高くなるほど低くなり、北部の低地帯で最も低い。最寒月は1月で、南西部の-8°C~内陸ツイミ川流域の-24°Cである。一方、最暖月は8月で、南西部の+18°C~北東部の+12°Cである。

## 4. 降水量の分布状況について(第1図右列)

年降水量は500mm~800mmで、緯度が高くなるにつれて少なくなっている。特徴的なのは夏期に降水が集中していることで、年間の6~7割を占める。冬期の降水は低温のため雪となるが、12~3月の月降水量が20~40mmなのに対し、最深積雪は50~70cm、多いところでは1mを越え、降水量が少ない割に積雪は多い。また、最深積雪は3月に出現する。

## 5. 考察

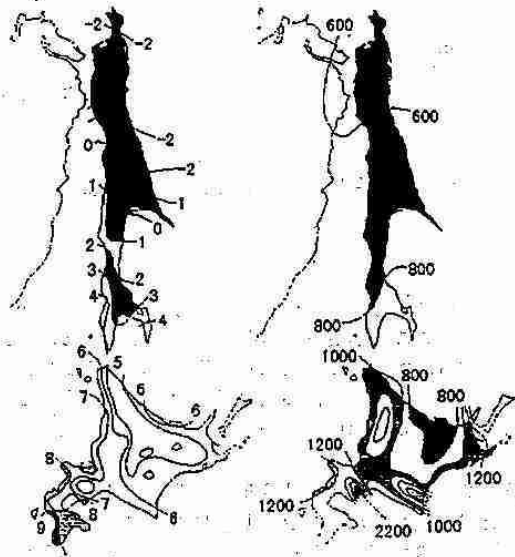
夏期と冬期について、気温分布の背景を考察する。冬期(第2図)は優勢なシベリア高気圧の支配下であり、低温のために大陸と結氷で連結して「島」でなくなり、大陸性の気候となる。このため晴れる日が多く、放射冷却も効いて寒さは一層厳しくなるが、南西部は暖流のために結氷を免れ、季節風の吹き出しによる雲に覆われて曇りや雪の日が多くなる(日本の日本海側と同じ)。南北の気温差は非常に大きくなり、2°C間隔の等温線も10本を数える(第1図)。夏期(第3図)は大陸が低圧部となるため、サハリンは南寄りの風が卓越、また、時々出現するオホーツク海高気圧の影響もあり、冬期とは一変して島全体が海洋性の気候となる。南北の気温差もほぼ解消し、等温線の数も3本となる。このように、冬期と夏期とで性格が変わるのがサハリンの気象の特徴だといえる。さらに、北半球でサハリンと同緯度の都市と気温と降水量を比較してみた(第1表)。降水量は平均的な値だが、気温は低い(特に冬期)ことがわかる。これは冬はシベリア高気圧・夏はオホーツク海高気圧の影響が大きいためと考えられる。

## 6. おわりに

隣の島でありながら、異国であるが故にその気象についてはほとんど知られていないと思う。今後、ロシア語の文献にもっと触れ、さらには千島列島・沿海州の気象についても調査し、これら地域の気象が北海道へ及ぼす影響などを考察していきたい。

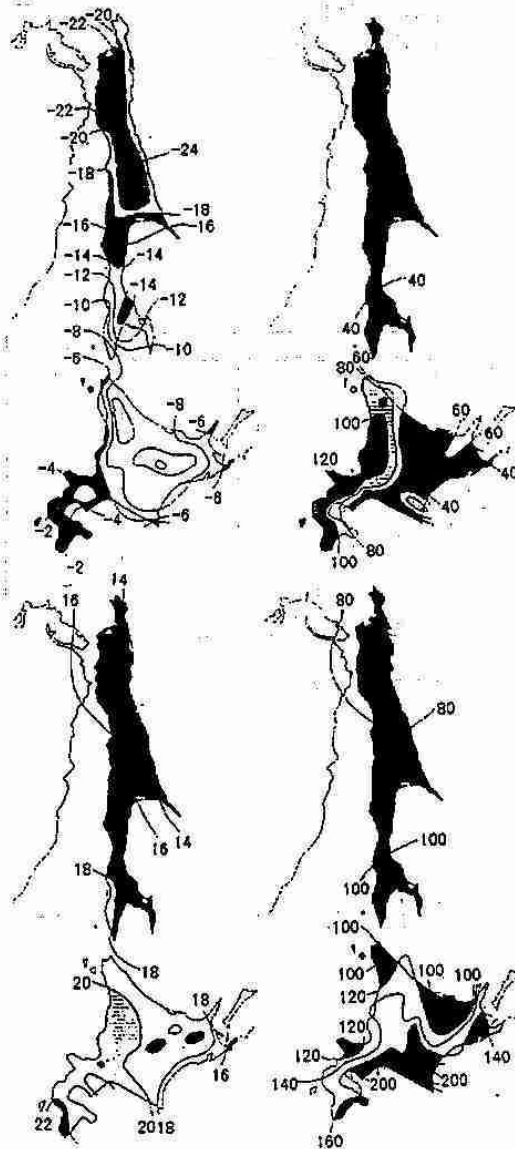
## 参考文献:

КЛИМАТ САХАЛИНА  
(А.И.ЗЕМЦОВА, 1968)



第1表 サハリンと同緯度の都市の気温と降水量の比較  
(上段：気温，下段：降水量)

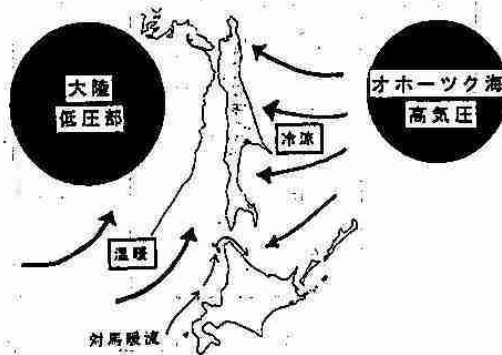
| 都市名                 | 緯度      | 1月    | 6月   | 年     |
|---------------------|---------|-------|------|-------|
| バンクーバー<br>(カナダ)     | 49°11'N | 3.0   | 17.4 | 9.9   |
| パリ<br>(フランス)        | 48°58'N | 3.5   | 18.0 | 10.6  |
| キエフ<br>(ウクライナ)      | 50°24'N | -5.4  | 16.6 | 7.8   |
| ユジノサハリンスク<br>(1977) | 46°55'N | -13.6 | 16.6 | 2.3   |
|                     |         | 45.7  | 98.7 | 825.8 |



第1図 サハリンと北海道の気温・降水量分布図  
(左列：気温，右列：降水量  
上段：年，中段：1月，下段：8月)



第2図 サハリンの冬期の模式図



第3図 サハリンの夏期の模式図

## 2. 天気予想と台風

松木 昇

はじめに

私は太陽観測を元に毎年2月10日に天気予想を出している。その低温期に台風が日本に接近または上陸する傾向がある。

天気予想図中(図1)に「天気予想に台風の接近又は上陸する時期は?」とあり具体的な期間を指定しているが予想通り台風が上陸接近した(図3、表3)。特に台風17号は関東地方の水不足を解消したのではないと思う。

天気予想の出し方は、太陽黒点を調べて、中央線の通過の日を調べる(表1)。その表に従って出していく。黒点の通過したところの7カ月後の表を作る(表2)。その表と前の表の黒点の出た所を合わせて低温にする。すると、天気予想が出来る。平成8年においてはその低温と台風の接近がほぼ一致した。低温期は雨の降る傾向にあり、台風の接近は特に不思議なことではない。

表の作り方は、昭和30年8月16日よりプラスを始め26日、25日、24日、23日、23日、24日、25日、26日、とプラスしていき、さらに26日、25日・・・と繰り返しながらプラスしていく。すると大正から昭和中ごろまでの冷害年と冷害でない年を分けることが出来た。過去の太陽黒点最低年とこの計算による冷害年が一致した。黒点の多い年は暑夏で、少ないときは冷夏となった。最近はこの規則に合わない年もある。しかし予想を出してから現在までの調べでは黒点の多いときは暑夏で、少ないときは冷夏の傾向にある。

表1

|    | 計         | A       | 中        | B         |
|----|-----------|---------|----------|-----------|
| 7年 | 8/(31)    | 8/8     | 12       | 18        |
|    | 9/(24)    | 11/1    | 7 (10)   | (13) (17) |
|    | 10/19     | (26)    | 11/2     | 8         |
|    | 11/(14)   | (21)    | 27       | 12/1      |
|    | 12/(10)   | 17      | 23       | 29        |
| 8年 | 1/4 (6)   | 10      | 15       | 22        |
|    | 1/28 (30) | 2/3     | 9        | 15        |
|    | 2/20 (22) | 26 (29) | 3/3      | 9         |
|    | 3/(14)    | 20 (23) | 26       | 4/1       |
|    | 4/7       | 14 (17) | 20       | 26        |
|    | 5/2       | 9 (12)  | 15       | 21        |
|    | 5/28      | 6/4 (7) | (10)     | 17        |
|    | 6/23 (26) | 30      | 7/(6)    | 12        |
|    | 7/18      | 24      | 30 8/(2) | 8/(5)     |
|    | 8/11      | 17      | 23       | 29 (30)   |
|    | 9/3       | 9       | 15       | 21        |
|    | 9/26      | 10/2    | 8        | 10        |
|    | 10/20     | 27      | 11/2     | 8         |

表2

|    | 計         | A       | 中        | B       |
|----|-----------|---------|----------|---------|
| 6年 | 3/(14)    | 20 (23) | 26       | 4/1     |
|    | 4/7       | 14 (17) | 20       | 26      |
|    | 5/2       | 9 (12)  | 15       | 21      |
|    | 5/28      | 6/4 (7) | (10)     | 17      |
|    | 6/23 (26) | 30      | 7/(6)    | 12      |
|    | 7/18      | 24      | 30 8/(2) | 8/(5)   |
|    | 8/11      | 17      | 23       | 29 (30) |
|    | 9/3       | 9       | 15       | 21      |
|    | 9/26      | 10/2    | 8        | 10      |
|    | 10/20     | 27      | 11/2     | 8       |

( ) は太陽が中央を通過した日

まとめ

太陽の観測結果からの天気予想で台風の接近時期が予想できる。これは何かの法則に沿うものなのか、単なる偶然なのか今はわからない。今後も台風と太陽に注目したい。

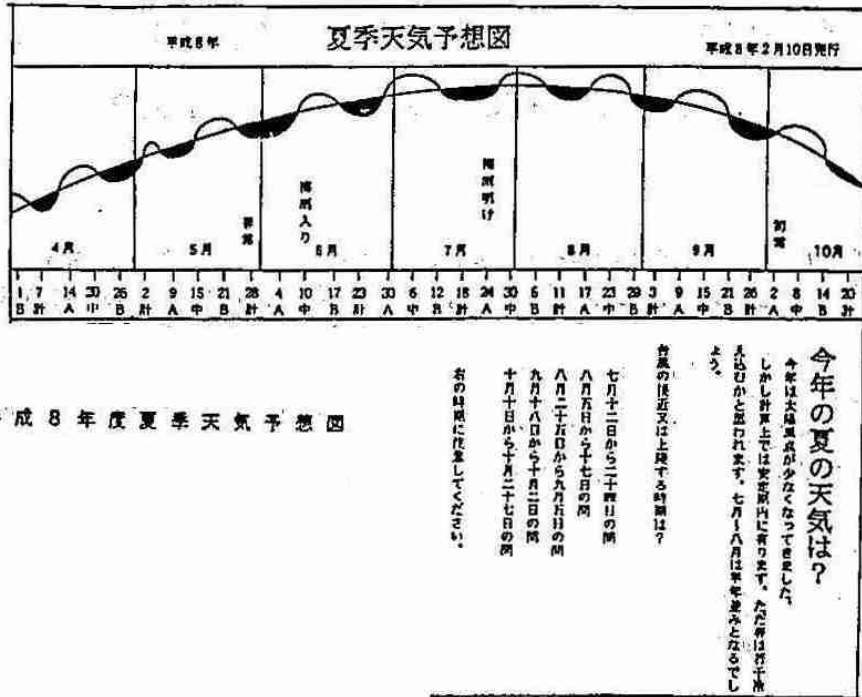


図1 平成8年度夏季天気予想図

**今年の夏の天気は？**  
 今年は太陽黒点が少なくなってきて、しかし計測上では安定域内にあります。この年は若干冷夏といわれるかもしれません。七月、八月は平常年と変わりませんが、前年の後又は上降する時期は？  
 七月十二日から二十七日の間  
 八月五日から十七日の間  
 八月二十五日から九月五日の間  
 九月十八日から十月二日の間  
 十月十日から十月二十七日の間  
 右の時期に注意してください。

|    |          |   |   |   |   |          |   |   |   |    |    |         |    |    |    |    |    |          |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----------|---|---|---|---|----------|---|---|---|----|----|---------|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 7月 | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6        | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12      | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18       | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|    | 11日台風5号  |   |   |   |   |          |   |   |   |    |    | 18日台風6号 |    |    |    |    |    |          |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8月 | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6        | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12      | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18       | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|    | 13日台風12号 |   |   |   |   |          |   |   |   |    |    |         |    |    |    |    |    |          |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 9月 | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6        | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12      | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18       | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |    |
|    | 1日台風14号  |   |   |   |   | 22日台風17号 |   |   |   |    |    |         |    |    |    |    |    | 29日台風21号 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

表3 台風の子想と実際  は台風接近予想

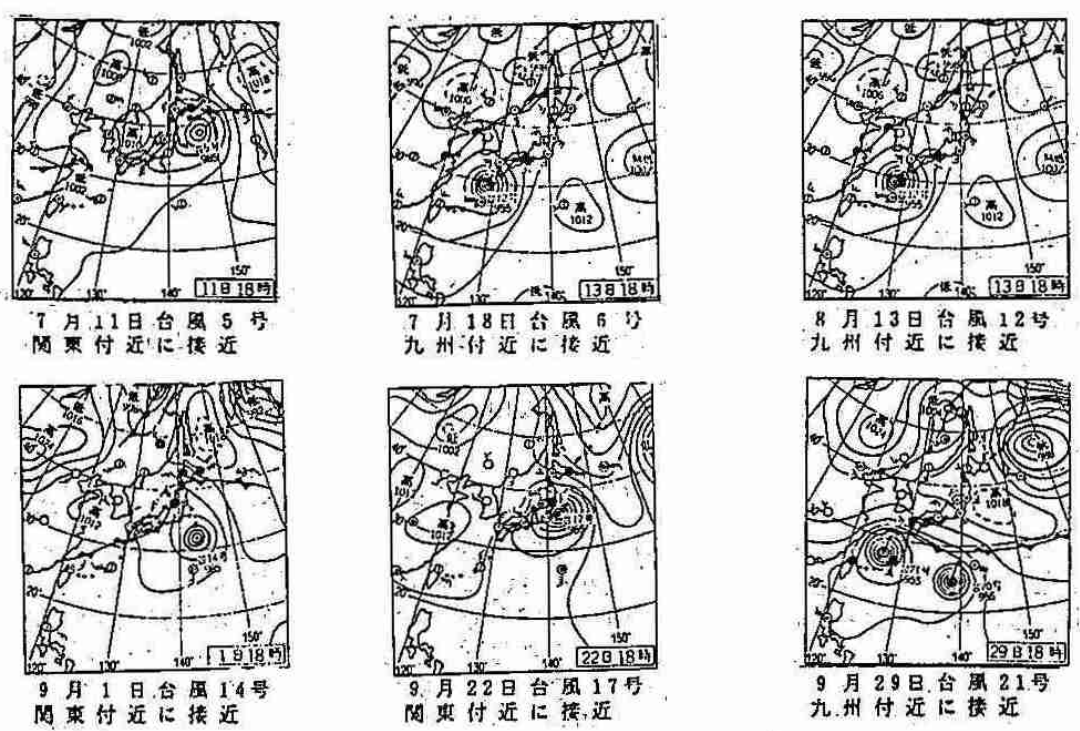


図3 台風接近時の天気図 (北海道新聞の複写)



### 3. 十勝地方における強風現象の総観・局地気象的特徴

遠藤 浩行・高橋 英紀（北大院・地球環境）

#### 1. はじめに

十勝地方における強風の研究は、多く行われてきている。特に、春の北西系強風に関しては多くの研究があり、この強風発生時に、気圧傾度が風の強さの割に大きくない、一般的なおろし風の発生時には存在するはずの上空の逆転層が存在しない、強風の日変化が明瞭であるなど特徴が見出されている。しかし、過去の研究はおおよそ3年程度の短期間の観測データを利用したものが多かった。そこで本研究では、17年間のAMeDAS観測データを利用し、十勝地方における強風現象を過去の研究成果をもとに検証するとともに、その特徴や原因をより詳細に解析することを目的とした。

#### 2. データ

本研究では、研究地域である十勝地方の18観測地点(図1)における1979年から1995年(17年間)の毎時AMeDAS観測データ、気象庁印刷天気図、高層観測資料、北海道気象月報を利用した。

#### 3. 調査方法

十勝地方の18観測地点のうち5地点以上で日最大風速が8m/s以上となった日を十勝地方の強風発生日と定義し、気象庁印刷天気図により、強風発生日を気圧配置型により分類するとともに、気圧傾度が根室-札幌間または稚内-函館間で8hPa以上の日(以下気圧傾度大の日とする)と、根室-札幌間および稚内-函館間で気圧傾度が8hPa未満の日(以下気圧傾度小の日とする)に分類した。そして、気圧傾度大・小の日それぞれについて、各気圧配置型の発生頻度をまとめ、傾向を分析するとともに、強風発生日の上空の逆転層の有無を調べた。その上で、気圧傾度小の日については、気圧配置型と日中の風速変化の様子によりさらに分類を行い、それぞれのタイプについて、日照時間、地上の気温日較差、上層(850hPa面)の気温・風速・風向について比較・分析を行った。また、それぞれの日について、強風の発生要因のひとつと考えられる大気的不安定状態の発生時間を、850hPa面と地表面の温度の比較により決定した上で、大気的不安定状態と強風の発生時間を比較し、逆転層の有無や上空の寒気流入なども考慮して、強風発生の特徴とその原因について考察した。

#### 4. 調査結果と考察

強風発生日は、特に3月～5月の春季に多く見られた(図2, 図3)。そして、強風発生日の気圧配置型による分類では、西高東低型・低気圧東方通過型および本道通過型は気圧傾度大の日に、南高北低型は気圧傾度小の日に集中していた(表1)。また、気圧傾度小の日の強風発生時の気象状態として、上空に寒気と山越え気流が存在すること、地上の日照時間が長いことなどがあげられた。

気圧傾度小の日(69日)について、大気的不安定状態の発生時間に強風が発生した日は47日あり、逆転層が存在した日は23日あった。強風発生の原因としては、①大気的不安定状態、②上空の逆転層があげられ、これらの原因で強風発生が説明できた日は47日あった。

以上のことから、十勝地方で気圧傾度が小さいにもかかわらず発生する強風の大部分は、地上付近の日照による昇温や上空の寒気流入などで発生する大気的不安定状態が原因となる場合(原因A)と、上空の逆転層の存在によりおろし風のような強風が発生する場合(原因B)、そして、それらが複合する場合(原因C)に分けられ、それぞれの場合ごとに、月別の発生頻度・気圧配置型・地上の日照時間や気温日較差・上層の気温・強風発生地点数の日変化などに特徴が見られた(図4～図7)。

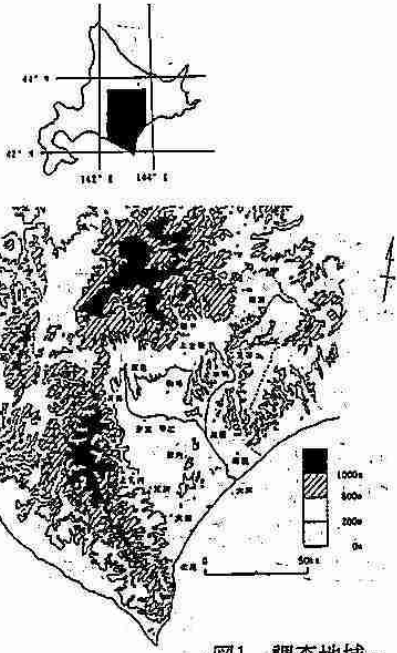


図1 調査地域

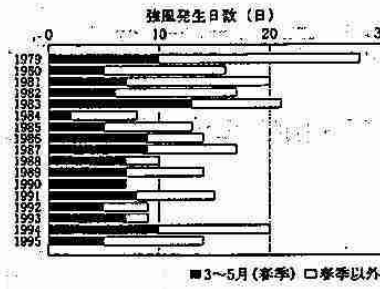


図2 年別強風発生日数

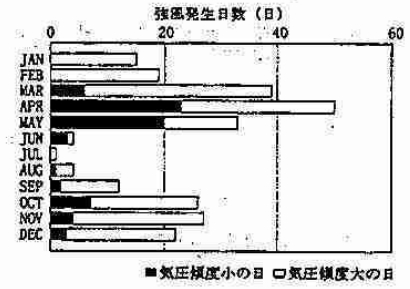


図3 月別強風発生日数

表1 気圧配置型による分類

|         | 西高<br>東低 | 南高<br>北低 | 低気圧<br>北方通過 | 低気圧<br>東方通過 | 低気圧<br>本道通過 | 分類<br>不能 |
|---------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|
| 気圧傾度大の日 | 73       | 6        | 36          | 31          | 26          | 11       |
| 気圧傾度小の日 | 2        | 32       | 22          | 1           | 1           | 11       |

(単位：日)

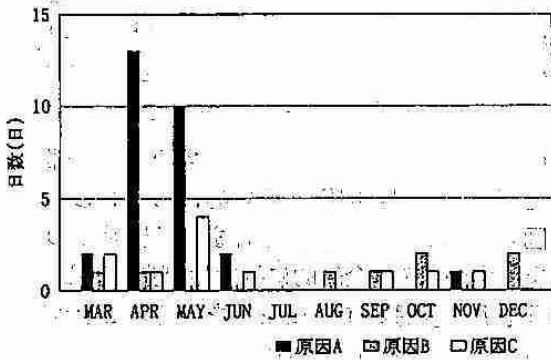


図4 月別発生日数

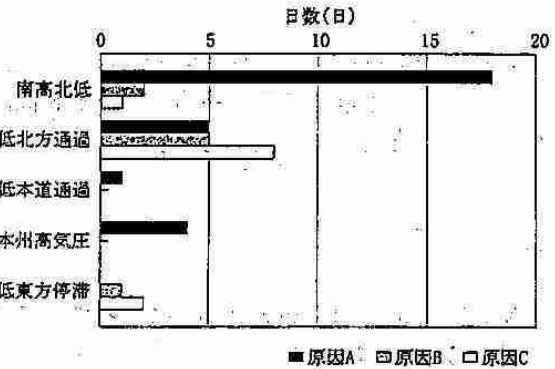


図5 気圧配置型別発生日数

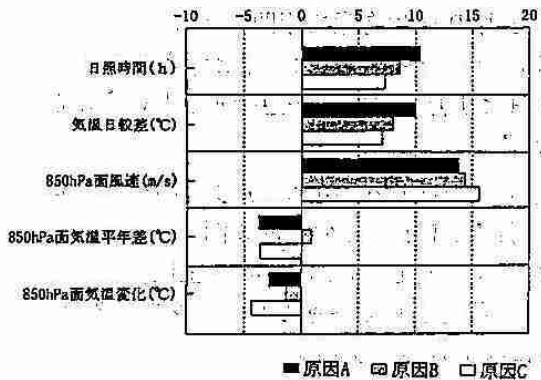


図6 原因別の日照時間、気温日較差、850hPa面風速・気温の比較

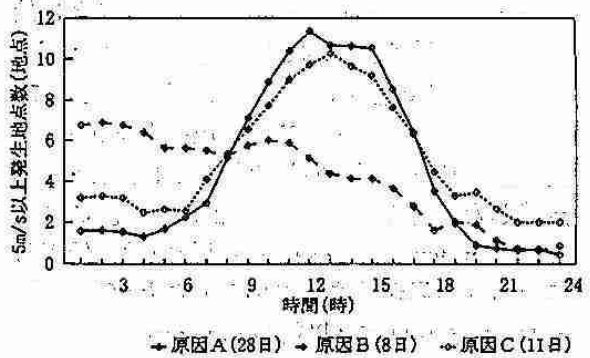


図7 5m/s以上の風の発生日数の日変化

## 4. 近年の極渦の強化とテレコネクションの関係について

大橋 康昭・山崎 孝治(北大院・地球環境)

### 1 はじめに

1970年代後半から現在まで、経年変動の観点から大気場をみると、88年頃を境に冬季北半球の中高緯度大気場に急激な変化が見られる。具体的には、88/89の冬以後は極渦が強化され、中緯度においてはテレコネクションパターンの一つであるEUパターンにも影響があることがわかる。そこで、NMC客観解析データセットを用いて実際に大気場がどのように変化したかについて解析を行った。

### 2 データ

使用したデータは、NMC客観解析データで、1978年から94年までの月平均、グリッド間隔は緯度経度ともに2.5度である。

### 3 結果

Wallace and Gutzler(1981)によって、テレコネクションパターンの一つとしてヨーロッパから日本にかけてEUパターンが定義された。図1は彼らによって定義されたEU indexの時系列の経年変化である。これより、88/89以前は(⊖ヨーロッパ) ↔ (⊕ロシア中央) ↔ (⊖日本)のパターンだったが、それ以後はパターンの符号が逆転している。このことは最近の日本の暖冬化傾向を示しているといえる。

次に、極渦の強さの経年変動を調べるために、その指標として、75-90Nの領域平均500hPa高度アノマリーを標準偏差で割ったPC indexを定義した。その時系列を図2に示す。これより、PC indexは88/89の冬以後急激に低下している(極渦が強まっている)ことがわかる。また、88/89以前と以後のindexの平均は有意水準99%で有意な差がみられる。さらに、以前は年々の変動幅は小さかったが、最近はやや大

きな変動を示していることがわかり、その分散には99%で有意な差がみられる。この傾向は成層圏50hPa高度場、同じ領域における1000-500hPaの層厚にもみられ、前後の平均にはいずれも有意な差がある。

PC indexと同様に、成層圏における帯状風(50hPa,65N)についてもその強さの指標としてU indexを計算した(図3)。これより、88/89の冬以後帯状風が強まっていることがわかる。

次に、冬季季節内で波と平均場がどのように相互に影響しあっているかについて、PCとEUとUの各indexを11月~3月の各月ごとに相関をとることにより調べた。その結果、Uは比較的持続性がみられ、また同月、翌月のPCとの相関が良かった。12月のPCと1月のEUと2月のPCの相関も高く、この時期にPC→EU→PCという強いつながりがあると思われる。

この各月同志で計算した相関係数の有意な部分に基づいて、相互関係を模式的にあらわしたのが図4である。上図は同じ月または翌月との関係を示すが、Uは全般的に持続性が良いこと、Uは同じ月、翌月のPCに影響を与えることがわかる。また、12、1、2月のPC→EU→PCのつながりもわかる。符号は、1月のEUが⊖になる、つまり日本が暖冬傾向にあるということを基準に相関係数の符号から求めた。下図は2ヶ月以上のずれを持った相関を示すが、11月のEUと1月のUは有意な相関があるため、1月の各indexの符号を上図と同じと考えると、EUの11月と1月では符号が逆転するということがいえる。

12、1、2月のPC→EU→PCの関係に注目して1月のEU indexの上位5例、下位5例をとりだして平均し、(下位) - (上位)のコンポジット解析をして各月のパターンをみると、11月には1月のEUパターンとは逆位相のパターンがみられ、12月には極域で負のパターン、1月には明瞭なEUパターン、2月にはEU

パターンと、極渦が2つに分かれたパターンがみられた。

#### 4 まとめ

経年変動の観点からは、極域の高度場、層厚が88/89の冬を境に急激に低下しており、EUパターンが以前とは逆位相になっていることがわかった。

季節変化に観点からは、上層の風が同月、翌月の極域高度場に影響することがわかり、また、12、1、2月のPC→EU→PCの強いつながりがあることがわかった。

以上から、PC、EUの変動は密接に関連し、初冬にキーポイントがあると考えられるので、今後はその変化の原因を探るような解析が必要である。

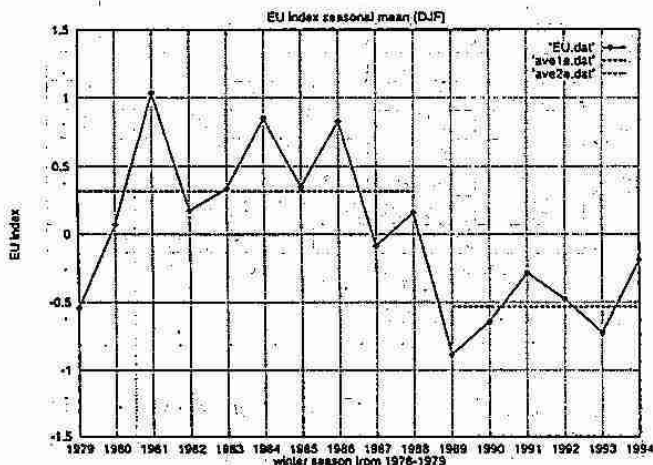


図1. EUindexの冬季平均(12,1,2月)の時系列.

$EU = -1/4Z^*(55N, 20E) + 1/2Z^*(55N, 75E) - 1/4Z^*(40N, 145E)$   
点線は各期間の平均.

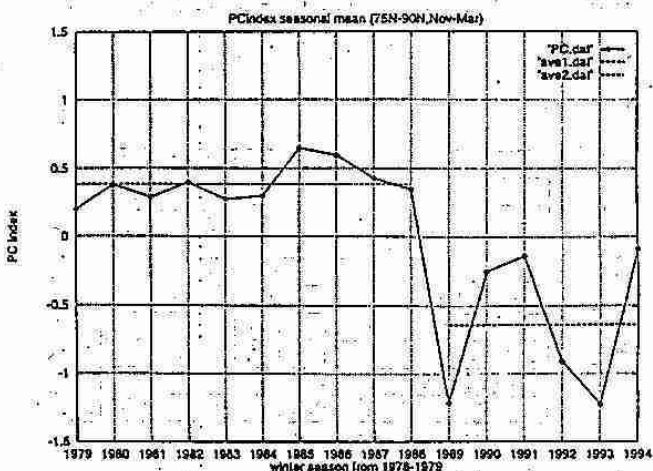


図2. PCindexの冬季平均(11-3月)の時系列. 点線は各期間の平均.

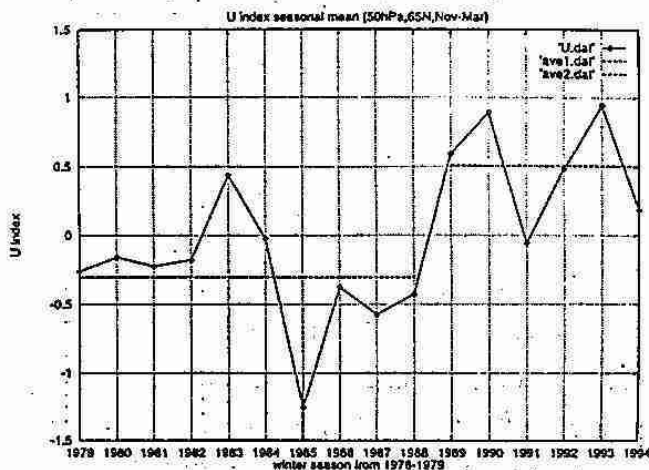


図3. Uindexの冬季平均(11-3月)の時系列. 点線は各期間の平均

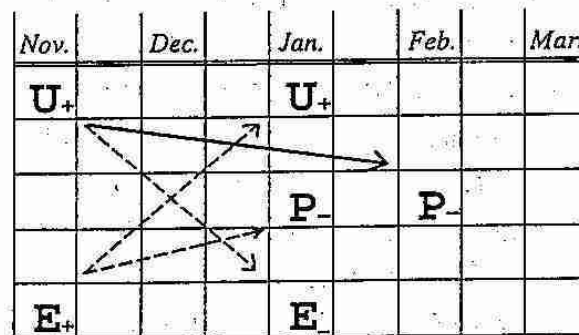
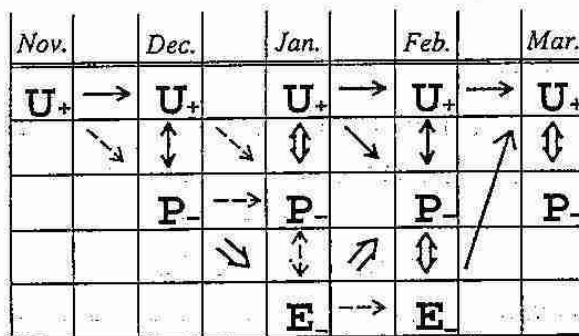


図4. PC, EU, Uの各月の相互関係. 同時は両矢印、ラグは片矢印で示す.  
上図: 同時または1ヶ月ラグ. 下図: 2ヶ月以上のラグ.  
有意水準: 太矢印(99%)、線矢印(95%)、点線矢印(90%).



## 5. 札幌におけるオゾン全量と紫外域日射量

青山 隆 (札幌管区气象台技術部高層課)

岸 隆幸 (札幌管区气象台技術部高層課)

安田 毅彦 (札幌管区气象台技術部高層課)

### 1. 調査の目的

近年、オゾン層の破壊に伴う地上到達紫外線量の増加に関して社会的な関心が高まっている。

オゾンが 1% 減少すると有害な紫外線は約 2% 増加するといわれているが、観測によりこれらを検討した例は少ない (伊藤 他, 1991)。

そこで札幌でのオゾン全量と紫外域日射量との関係、季節的な変化について調査する。

### 2. 調査方法

調査には 1991 年～1995 年の札幌のオゾン全量観測記録並びにブリュワー分光光度計による波長別紫外域日射観測データを用いる。

オゾン全量観測はオゾン層を通過する光線が垂直に入射した時に比べ何倍の距離を通過したかを表す数字 ( $\mu$  と呼ばれ太陽天頂角に対応する) が 1.5 及び 2.5 の時に行われる。札幌では太陽天頂角  $z$  が 48.4 度の時に  $\mu$  が 1.5,  $z$  が 66.9 度の時に  $\mu$  が 2.5 になる。ブリュワー分光光度計は 0.5nm 刻みで 290～325nm の紫外域日射を毎正時に観測している。その内 290～315nm までを波長積分したものを特に UV-B としている。オゾン全量との相互比較のために紫外域日射データをオゾン観測指定時刻に対し時間内挿したものをその時刻の紫外域日射量瞬間値とし以後の解析に使用する。

紫外域日射は雲量の変化による影響が極めて大きいことが予想されるため、今回の調査ではオゾン観測時の全雲量が 0+ 以下の直射光観測についてのみ解析を行う。

### 3. 調査結果と考察

#### (1) UV-B の季節変化

札幌における UV-B の日積算値のピークは毎年 7 月頃に見られる (図 1)。図中の一つ一つの点は毎正時に得られた UV-B を  $\mu$ , 雲量に関わらず 1 日分積算したものである。

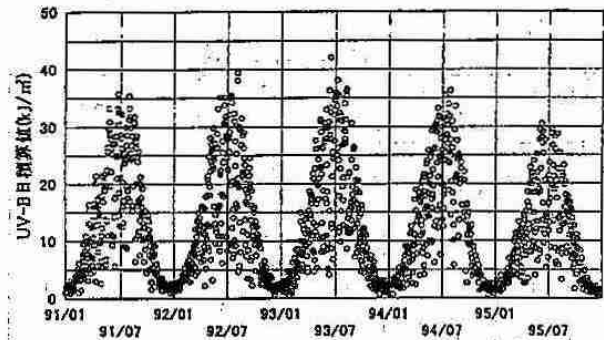


図 1 札幌における UV-B 日積算値の経年変化

しかし一定の太陽天頂角 ( $\mu = 2.5$ ) で分類すると UV-B 瞬間値は秋に最大値, 春に最小値になる年が多く, 逆にオゾン全量は毎年秋に最小値, 春に最大値が存在している (図 2)。つまりオゾン全量の最大期に UV-B の最小期, オゾン全量の最小期に UV-B の最大期があることがわかる。

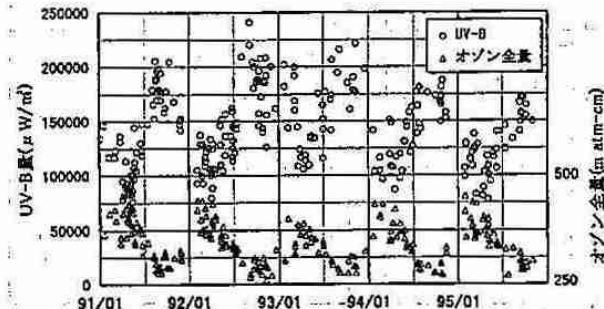


図 2 全雲量 0+ 以下,  $\mu = 2.5$  時の UV-B 量とオゾン全量の経年変化



(2) オゾン全量と波長別紫外域日射の関係

以上の結果から地上到達 UV-B 量の変動にはオゾンによる吸収の効果が大きいことが考えられる。そこで全雲量 0+ 以下の条件下で  $\mu = 1.5, 2.5$  のオゾン全量とその時刻の  $\log(\text{UV-B})$  の関係を見ると、ほぼ直線的な関係があることが分かる(図 3)。

また機械的に 300nm から 5nm 毎に取り出した波長別紫外域日射との関係にも同様の関係が見られる(図省略)。

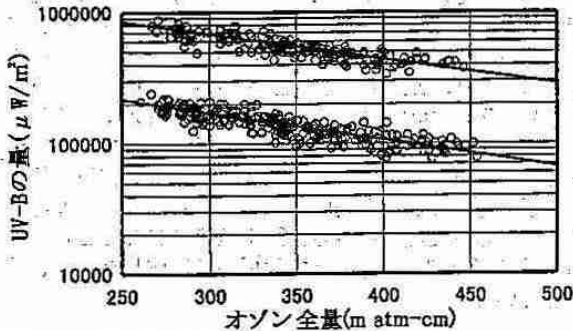


図 3 全雲量 0+ 以下でのオゾン全量と UV-B 量の関係。

上のデータ群が  $\mu = 1.5$ , 下が  $\mu = 2.5$ 。図中の直線は回帰直線。

そこでオゾン全量と紫外域日射量の対数との間に回帰直線をあてはめた時の直線の傾きから、オゾン全量が 1% 減少した場合の紫外域日射の変化量を見積もった(図 4 a,b)。いずれの  $\mu$  においても波長が短くなる程、変化量が大きくなっている。また同じ波長同士では  $\mu = 2.5$  のほうが  $\mu = 1.5$  より変化量が大きい。

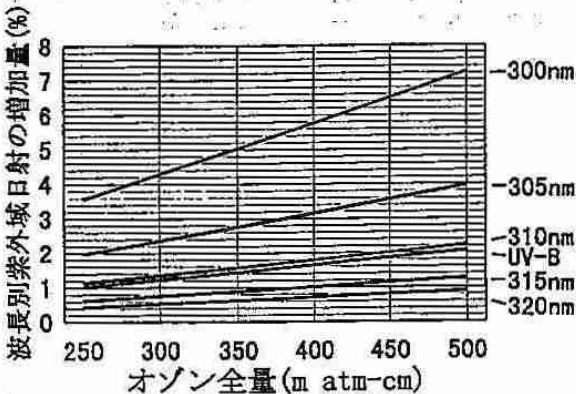


図 4-a 全雲量 0+ 以下,  $\mu = 1.5$  におけるオゾン全量 1% 減少時の波長別紫外域日射増加量

減少時の波長別紫外域日射増加量

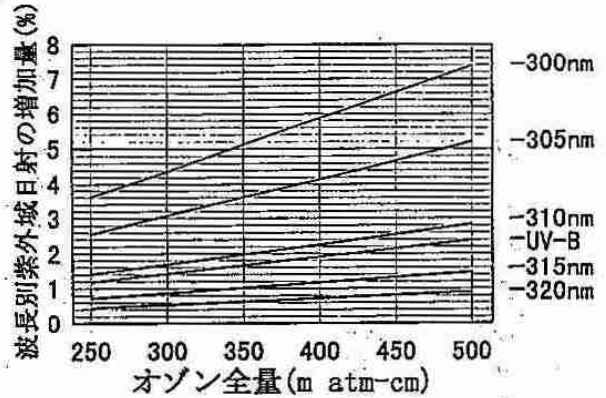


図 4-b 全雲量 0+ 以下,  $\mu = 2.5$  におけるオゾン全量 1% 減少時の波長別紫外域日射増加量

4. まとめ

札幌の快晴時における紫外域日射の季節変化と、オゾン全量との関係について調査した。

札幌では  $\mu$ , 雲量による分類をしない UV-B 日積算値の最大値は 7 月に記録される。しかし、快晴時、特定の太陽天頂角 ( $\mu = 2.5$ ) においては、オゾン全量の最小期(秋)に UV-B 瞬間値が最大になり、オゾン全量の最大期(春)に UV-B 瞬間値は最小になっていた。

快晴時、太陽天頂角一定の条件下ではオゾン全量と波長別紫外域日射量の対数はほぼ直線的な関係があり、得られた係数を用いてオゾン全量の変動が紫外域日射瞬間値に与える変化量を見積もった。

札幌で通常観測される範囲においてオゾン全量が 1% 減少すると UV-B 瞬間値で 1~2%, 300nm (紫外線波長域における日焼け作用スペクトルのピーク付近) では 3~7% 増加すると推定される。

引用文献 伊藤朋之・上野丈夫・梶原良一・下道正則・上窪哲郎・伊藤真人・小林正人 (1991): 地上到達紫外線量の監視技術の開発, 研究時報, 43, 213-273

## 6. 冬期季節風先端部に発生した対流雲の構造

勝俣昌己・上田 博・山田広幸・菊地勝弘(北大院・理)

### 〈はじめに〉

冬期季節風の吹き出し時に、季節風と直交した方向にライン状に形成される対流雲の構造について、1996年1月24日の事例についてのデュアルドップラーレーダー解析結果を、平成8年度第1回支部研究発表会で報告した(細氷42号、pp40-41)。この対流雲の空間的な広がり、及びその内部構造との関係について、衛星搭載型マイクロ波放射計SSM/Iをはじめとする衛星画像を用いた解析を行ったので報告する。

### 〈使用データ〉

衛星搭載型マイクロ波放射計SSM/Iの85GHz垂直偏波チャンネルでの輝度温度(85V\_TB)及び偏波比(P85,  $P85 = 85H\_TB / 85V\_TB$ )を使用した。また、石狩湾沿岸の小樽、厚田の2地点に設置されたドップラーレーダーでデュアルドップラーレーダー解析を行い、1km x 1km x 250m x 12分の4次元格子に3次元風ベクトル及び反射強度を得た。これらと合わせて、VISSR/GMS及びAVHRR/NOAAの可視・赤外画像を使用した。

### 〈結果〉

図1に1996年1月24日0131GMTのSSM/I観測でのTB85V及びP85の分布図を示す。これによると、P85が0.84を越える雲粒子及び降水粒子の密度の比較的高い領域が、連続した線状の領域として石狩湾近辺の[44N, 141.5E]から[38N, 135E]まで、およそ600kmにわたって確認できる(陸上は除く)。85V\_TBの低下も同様の線状に確認される。

この線の西方には北北西-南南東に走向を持つ筋状のパターンが存在しており、季節風の吹き出しに伴う筋状雲(赤外・可視画像に確認される)に対応する。また、この時間帯に、北東から南西に延びるトラフが北日本を通過したことが総観天気図に現れている。このことは、SSM/Iで確認された線状の領域が、寒気の吹き出しに伴う不連続線に対応していることを示している。

このSSM/Iの観測とほぼ同時刻の高度2000mの反射強度及びドップラー速度と、同範囲のSSM/I P85及び85V\_TBを図2に示す。このうち、図2(a)で示される、下層風の水平シア(高度500m、96年春季大会予稿集B364参照)に対応して南北方向に延びる2本のバンド状エコー(以後バンドA、バンドBとする)のうち、東側のバンドBに対応する位置でより大きな85V\_TBの低下がみられる。これは、2本のバンドのうちバンドBの方がレーダーエコー体積がより大きく、最大反射強度が強いことと対応している。このことは、バンドBの方が散乱体、つまり降水粒子を密度、体積共により多く含んでおり、対流雲としての空間スケールが大きいことを示している。バンドBの幅は20~30kmであり、図1に示される線状のパターンとほぼ一致した幅をもっていた。

一方、バンドAにおいては85V\_TBの低下が認められず、レーダーエコー体積、最大反射強度共に小さい。これはバンドAに成長した降水粒子が少ないこと、つまりバンドBよりも弱い対流雲であることを示している。また、85V\_TBの低下という点においてバンドBの方が図1に示される線状のシステムに対応している。これらから、バンドBが季節風吹き出しの「先端部」に対応する不連続

線上にある対流であると言える。

デュアルドップラー解析によって得られたバンドBの気流系は、循環がバンドに直交する方向に卓越しており、2次元的な構造をもっていた。つまり、寒気の進行に伴ってその前面で発生する収束及び上昇流と、風速の鉛直シアによってダウンシア側に形成される降水域及び下降流域の組み合わせである。これは、バンドBが季節風の先端部の不連続線に該当することを支持するものである。

また、バンドBに先行して層状に広がるレーダーエコーが観測された。これは、不連続線前面の暖気移流を環境場として、ダウンシア側の上空に供給される雲域で形成された弱い降水であると考えられる。VISSR/GMS-5赤外画像では、上空の巻雲と連続した低TB領域が広がっており、その雲頂は約5000mであった。これは、15dBZレベルでのエコー頂高度(3500m)を大きく上回っている。一方で、AVHRR/NOAAの可視画像では、この高い雲頂の部分は上層の巻雲であると判断できる。これは、下層の対流から供給された雲粒のうち、降水粒子にまで発達しなかった雲粒が上空まで運ばれて雲頂部を形成したことを示唆している。

### 〈まとめ〉

冬期季節風の吹き出し時に、赤外画像でみられる100km以上の東西幅で広がった巻雲下に幅約20~30kmの線状の対流システムが長さ約600kmにわたって連続して存在していることが確認された。レーダーと衛星のデータの比較解析から、これが2次元的な気流構造をもつ、季節風吹き出し時の不連続線状に発生した対流雲であることが示された。

今後は更に、今回示されたスナップショット構造の時間変化(もしくは時間定常)を考えたマルチスケール構造を解析する必要がある。

※ 本研究では防災科学技術研究所の特別研究「吹雪の広域予測手法の開発と広域ウォーニングシステムの実用化に関する研究」で取得したドップラーレーダーデータを使用した。

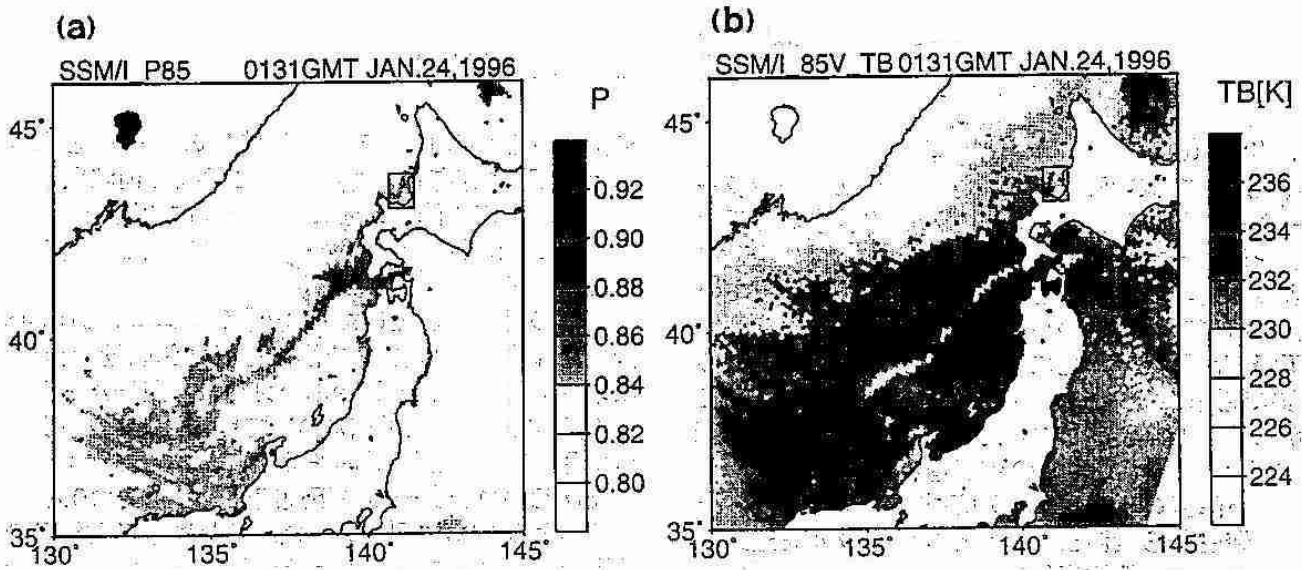


図1 : 1996年1月24日0131GMTのSSM/I観測による(a)P85及び(b)TB85V分布図。図中の四角は図2の範囲を示す。

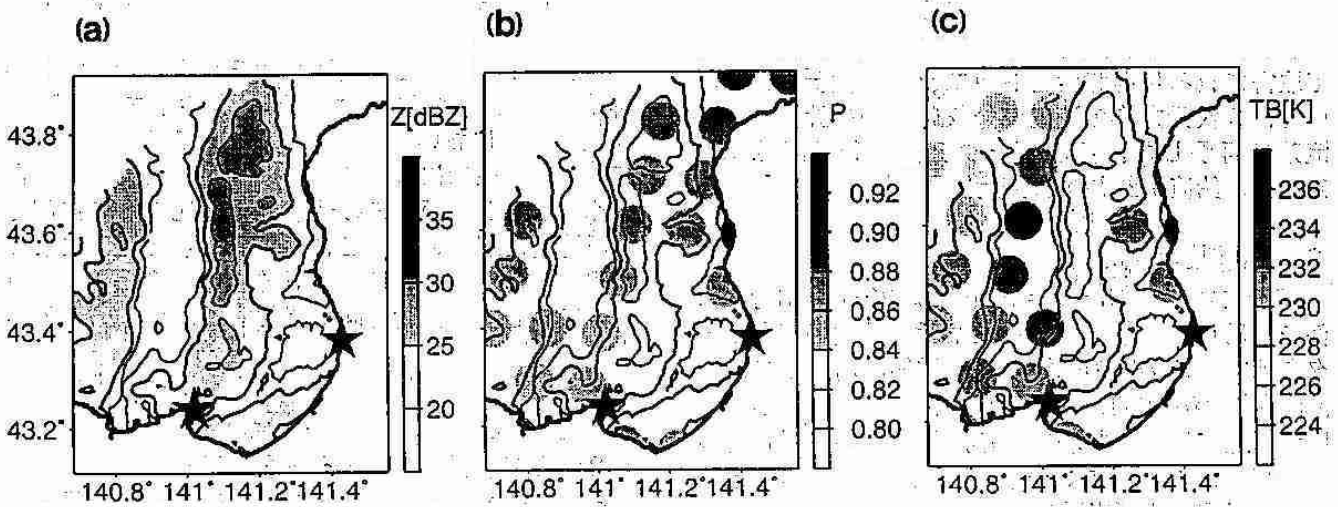


図2 : (a)デュアルドップラー解析による0136GMT、高度1000mでのレーダー反射強度、及び図1と同時刻の(b)SSM/I-P85(陰影)、及び(c)SSM/I 85V\_TB(陰影)。(b)及び(c)での等値線は(a)の反射強度。

## 7. 雪雲から発生する下降流の形成過程

\* 山田広幸・上田 博・菊地勝弘（北大院・理）、  
真木雅之（防災科研・気水圏）、岩波 越（防災科研・長岡）

### 1. はじめに

1996～7年の冬期、石狩湾沿岸に2台のドップラーレーダーを配置し、冬期季節風時に出現する雪雲の観測を行なった。このうち石狩湾上で急激に発達するような雪雲の発達過程に注目し解析を行なっている。これまでの解析から、古い対流組織から発生する下降流が下層で周囲に収束域を形成して、雪雲の急激な発達に必要な強い上昇流の形成に寄与することがあることを明らかにした（1995年秋季大会予稿集A351）。従って雪雲の発達過程を明らかにする上で、下降流の形成過程を理解する必要がある。そこで、発生から消滅までのライフサイクルを追跡することができた観測事例を用いて、下降流の形成過程について調べた。

### 2. 観測概要

防災科学技術研究所所有のXバンドドップラーレーダーとXバンド二重偏波ドップラーレーダーを、それぞれ厚田と小樽に配置し、12分間隔で空間走査（ボリュームスキャン）を行なった。この観測によって取得される反射強度とドップラー速度データを用いて、3次元方向の速度成分（ $U, V, W$ ）を計算し、気流系を再現した。気流データの空間分解能は水平1.0km、鉛直0.25kmである。

### 3. 観測結果

解析には、1995年1月27日21時20分～23時の事例を使用した。図1に21時における札幌の高層データを示す。この時の総観場は、季節風時としては対流混合層が比較的深く（3.5km）、混合層内で西南西風が卓越するような弱い季節風時の特徴を示していた。石狩湾上にはエコー頂が4km以上に達する対流性の降雪セルが出現した。

図2に、21時36分における混合層中層（高度2km）の反射強度と、海面付近（0.25km）の気流ベクトルを示す。個々の降雪セルは、全体的に南西から北東へ遅い速度（約 $4\text{ms}^{-1}$ ）で移動していた。注目した降雪セルは $X=-40\text{km}, Y=17\text{km}$ に位置しており、21時10分頃に発生したと推測される。このセルの中心を切る（P-P'）東西鉛直断面（図3上）を見ると、後方からの下層の強風によってセル内では上昇流が卓越し、反射強度のピークが高度2～3kmに見られ、発達段階にあった。この下層の強風は、風上側（西側）にある消滅期の降雪セルから発生していた。22時00分以降、セル内で下降流が卓越し、22時12分（図3下）には高度1km以下で前方に吹

き出す気流がみられる。反射強度のピークも高度1km以下に存在し、この時刻には既に消滅段階にあった。23時以降このセルは石狩湾内で消滅した。従ってこの降雪セルの発達から消滅に至る一連の過程を追跡することができた。

上記の過程をまとめたのが図4である。21時48分（セル発生から約40分後）を境に鉛直速度（b）・収束発散（c）のパターン変化が見られ、発達から衰退へ移行している。衰退期において反射強度のコンターの降下速度に差異がみられる。20、25および27.5dBZのコンターの降下速度は、それぞれ0.45、0.69および $1.93\text{ms}^{-1}$ であった。これは、降雪粒子の落下速度に依存するものと考えられる。また、22時以降の水平収束（高度1.5～2.5km）・発散（1km以下）のパターンの形成と、それに伴う2km以下での下降流の発生が、強エコー領域（27.5dBZ以上の領域）の降下と時間的に一致していることが注目される。つまり落下速度の大きい霰などの降雪粒子が、周囲の空気塊を引きずることによって下降流が生じたものと推測される。

降雪セルの西側と東側におけるセルに相対的な平均風速を図5に示す。ガストが発生している時刻（図5b）において高度1～3kmで収束が卓越している。この層について発達段階（図5a）の場合と比較すると、西側での速度変化と比較して東側での風速変化が大きい。これは東側からの流入によって収束が形成されたことを意味する。実際には、南東方向（セルの移動方向に対し右側）からの流入が卓越していた。

### 4. まとめ

2台のドップラーレーダーを使用した観測・解析から、雪雲からの下降流形成過程について以下のような特徴を捉えた。

- ◎下降流は、強エコー域が地表へ到達する、最盛期直後に発生した。これは、霰等の密度の大きい降雪粒子の落下に伴うローディング効果によるものと考えられる。
- ◎下降流の発生によって出現した高度1～3kmの収束域は、セルの進行に対し右側から空気塊が取り込まれることによって形成された。

本研究では防災科学技術研究所の特別研究『吹雪の広域予測手法の開発と広域ウォーニングシステムの実用化に関する研究』で取得したデータを使用した。



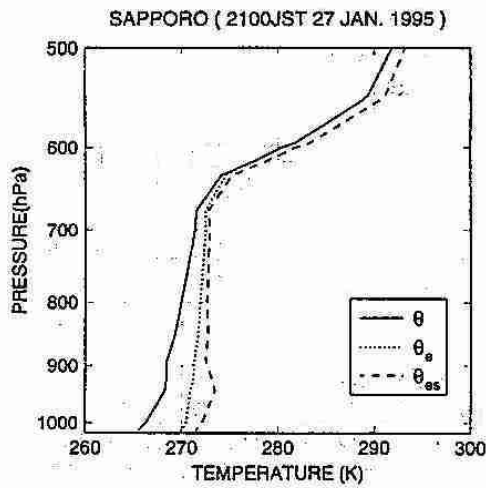


図1 1995年1月27日21時の札幌における高層データ。θ, θ<sub>e</sub>, θ<sub>es</sub>はそれぞれ温位、相当温位、飽和相当温位を示す。

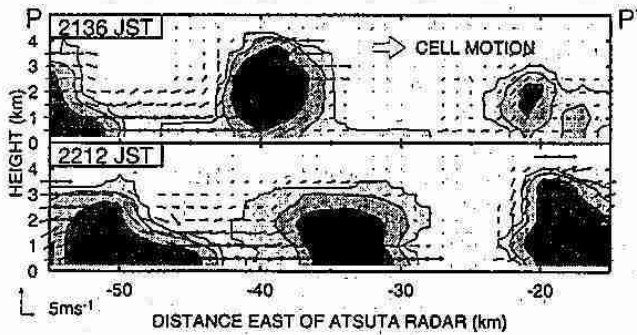


図3東西鉛直断面。ベクトルは地表に相対的な東西鉛直流を表す。

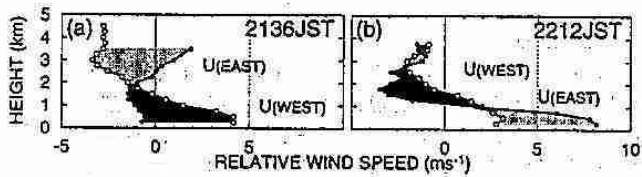


図5 降雪セルの西側 (—○—)・東側 (—●—) における、セルの移動に相対的な東西流の鉛直構造。濃い(薄い)陰影は、それぞれ水平収束(発散)域を示す。

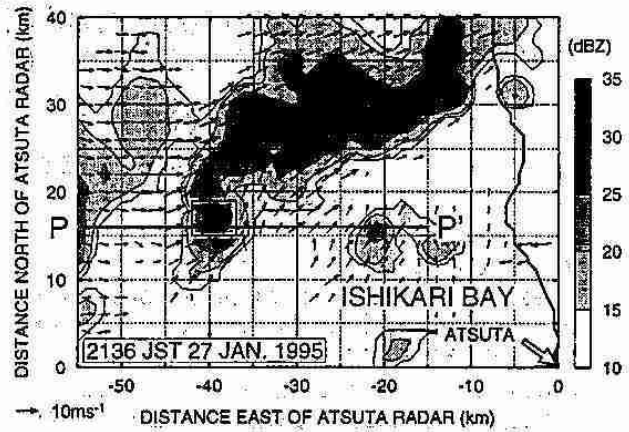


図2 反射強度(高度2 km)と水平風ベクトル(0.25 km)。四角形(X=-40 km, Y=17 km付近)は図4の計算領域を示す。

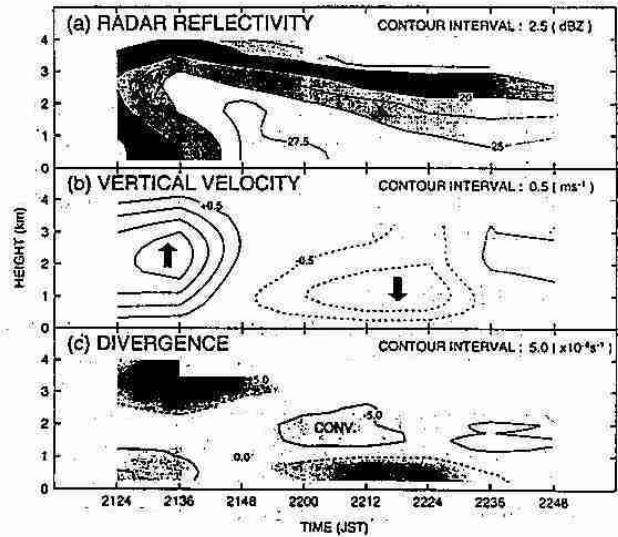


図4 降雪セル中心における鉛直構造の時間変化。(a)反射強度。(b)鉛直速度。実線が上昇流、破線が下降流を示す。(c)水平発散量。実線が収束域、破線が発散域で、点線が収束量0 s<sup>-1</sup>を示す。



## 8. 北極圏における厳冬期の水蒸気、エアロゾル、雪結晶の研究 (WANTS-ARCTIC; Canada)

その2 ー厳冬期におけるカナダ北極圏での氷形成の水収支についてー

\*井上雄介・遊馬芳雄・菊地勝弘・上田 博(北大院・理)・梶川正弘(秋田大・教育)  
佐藤 昇(大阪府教育センター)・桜井兼市(北教大)・早坂忠裕(東北大・理)

### 1. はじめに

1995年12月14日から1996年1月15日にかけてカナダ、ノースウェスト準州のイヌビックで行われたWANTS-ARCTIC; Canada期間中の、12月27日から29日にかけての一連の降雪の際に霧が観測された。このように、極域の厳冬期にはしばしば霧が観測されるが(Magono and Kikuchi, 1980)、その形成過程を論じた研究は少ない。そこで、この一連の降雪について、鉛直ドップラーレーダー、マイクロ波放射計、地上での降雪粒子観測から、霧形成の水収支を定量的に解析した。

### 2. 総観場

12月27日から29日にかけては、アリューシャン列島付近の発達した低気圧の影響でイヌビックに降雪がもたらされ、上空には北太平洋から暖気が移流してきていた(図1)。イヌビックの高層データ(図2)からは、上空約1~3kmに南から移流してきている暖気が湿潤であることが分かる。

### 3. 観測データ

この一連の降雪は、27日18UTC~29日04UTCに観測されたが、その大部分の降雪は28日02~07UTCにもたらされた。その時の電子天秤で測定した降雪量、マイクロ波放射計による水蒸気量・雲水量の時系列データを図3に示す。霧は05:00~06:00UTCに観測され、そのうち降雪量の増加した05:10UTCには、最大直径3~4mmもの霧が観測された。この05:10UTCの直前には雲水量の急減が見られ、ライミングによる霧の形成とよく対応している。なお、03:00~04:00UTCには地上での降雪粒子の観測を行っていなかったが、降雪量が非常に多いので、この部分についても以後議論していく。

レーダーエコーの時間高度断面(図4)を見ると、反射強度・ドップラー速度共に、値の大きな領域が傾きを持っており、降雪粒子の落下に伴うものと考えられるが、このうち04:50UTCの3km付近から05:06UTCの300m付近に見られる傾いたエコーはドップラー速度が最大で2m/sを超えており、エコーが地上に到達したと思われる05:10UTC頃に最大直径3~4mmもの霧が多数観測されたこととよく対応している。一方、降雪量の非常に多い03:00~04:00UTCでは、反射強度は霧が観測されたときよりかなり大きな値を示しているが、ドップラー速度は1.0~1.5m/sと霧の時より小さい。なお、霧の落下に伴うレーダーエコーのピークは地上付近ではなく上空1km付近にあるので、ラ

イミングに伴って降雪粒子が成長していたのは上空1~3km付近だと考えられ、高層データ(図2)の飽和層に対応している。

### 4. 降水粒子の水収支解析

霧は過冷却雲粒の雪粒子への付着、凍結によって形成されるので、その際の水収支が重要である。水収支を議論するためには氷水量を求める必要があるが、ここではレーダーデータを用いて次式によって見積もった。

$$IWC = M / V_T$$

ここで、IWCは氷水量、Mは単位時間・単位面積当たりの降雪量で、28日01:30UTC~29日01:40UTCの反射強度・降雪強度を10分間隔で平均した値からZ-R関係(図5)を求めることにより反射強度の関数として表せる。V<sub>T</sub>は降雪粒子の落下速度で、Atlas et al. (1973)による、

$$V_T = 0.817 Z^{0.066} (\rho_w / \rho)^{0.4}$$

によって計算した。ここで、Zはレーダー反射因子、ρは空気の密度。

この方法を用いて、28日01UTC~07UTCについて、水蒸気量、雲水量、氷水量の鉛直積算量を図6に示す。大きな霧が観測された05:10UTC前後では、さきにも述べたように雲水量が急減した直後に氷水量が増加しており、ライミングによる水から氷への相変化が示唆される。一方、03:00~04:00UTCでは、水蒸気量が急減した直後に氷水量が増加しているため、昇華・凝結成長によって雪結晶が形成されたと考えられる。このことは、図4で反射強度が強い割にはドップラー速度が小さいことともよく対応している。

### 5. まとめ

WANTS-ARCTIC; Canada期間中に観測された霧の形成過程及びその際の水収支を解析した。鉛直ドップラーレーダー、マイクロ波放射計、地上での降雪粒子の観測から、上空3km付近で生成した降雪粒子が、落下と共に上空1km付近までライミングして霧を形成する過程が分かった。

また、レーダーデータと降雪強度を用いて、氷水量を求める手法を示した。この氷水量を水蒸気量・雲水量と比較することにより、雲水量が減少かつ氷水量が増加しているところでは、ライミングによる霧の形成に対応しており、水蒸気量が減少かつ氷水量が増加しているところでは、雪結晶が形成されたと推定できた。

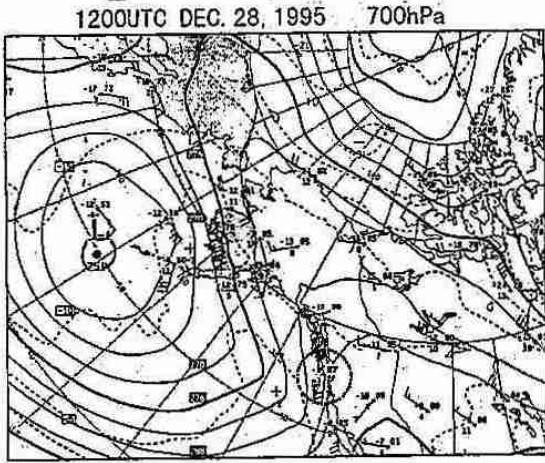


図1. 1995年12月28日1200UTCの700hPaの高層天気図.

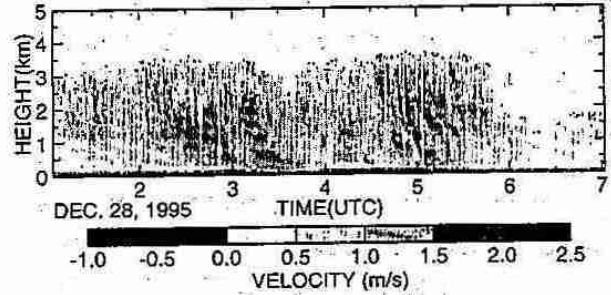
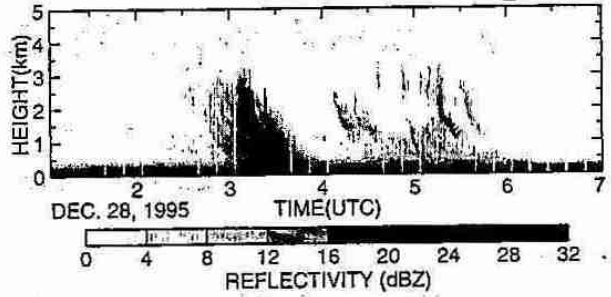


図4. 1995年12月28日01:04~06:02UTCの反射強度(上)と鉛直ドップラー速度(下)の時間高度断面図. 鉛直ドップラー速度は正が下向きを表す.

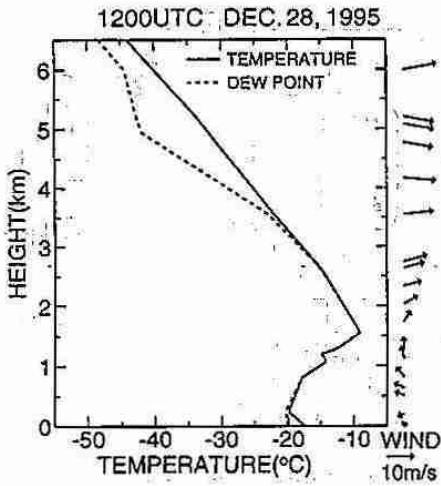


図2. イヌビッキでの1995年12月28日1200UTCの気温、露点温度、風向・風速の高層データ.

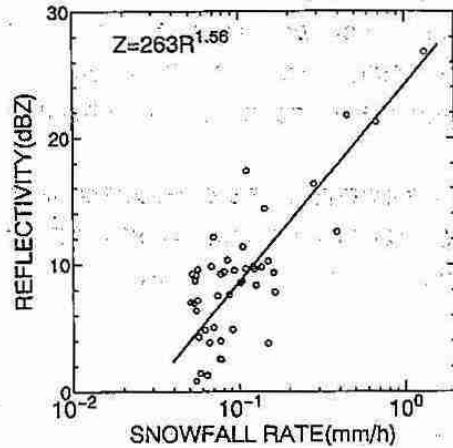


図5. 反射強度と降雪強度の関係. データは1995年12月28日01:30UTC~29日01:40UTCのものを1.0分間隔で平均したもの.

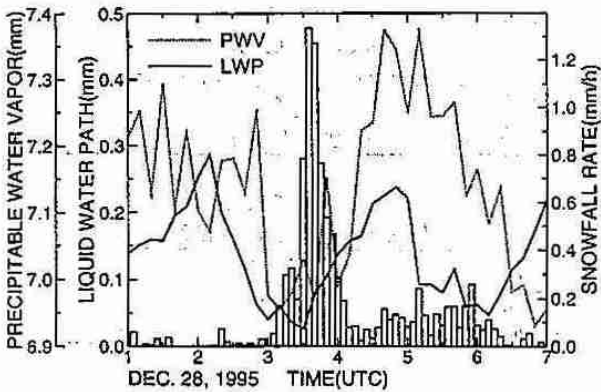


図3. 1995年12月28日01~07UTCの水蒸気・雲水量・降雪強度の時系列.

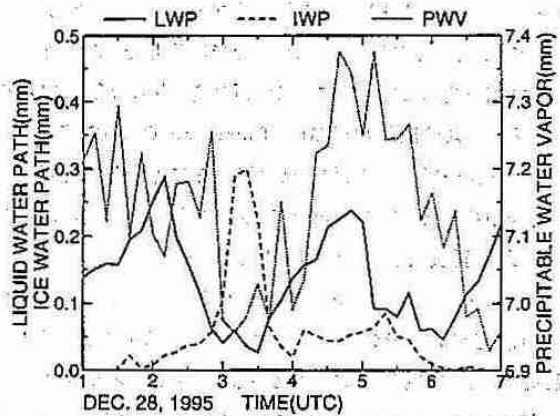


図6. 1995年12月28日01~07UTCの水蒸気量・雲水量・氷水量の時系列.

## 9. 大気中 SF<sub>6</sub> の定量法の確立とその応用

土屋秀二・田中教幸・角皆静男  
(北海道大学地球環境科学研究科)

### 【はじめに】

人類はその様々な活動により大気中に様々な化学物質を放出し、大気化学環境や熱収支等に影響を与えてきたことは広く認識されている。その中で、六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)は、人為起源大気微量ガス成分中で、極めて化学的に安定な物質である。その優れた化学的特性のためにSF<sub>6</sub>の需要は年々上昇しており、その生産量は年と共に線形的に上昇していることが、Maissら(1996)、Koら(1993)により報告されている。大気中SF<sub>6</sub>の環境への影響は、今のところ無視し得る範囲にある。しかしながら、その大気中滞留時間(3000年以上)が非常に長く、さらに1分子あたりに温室効果能力(CO<sub>2</sub>の約20000倍)が既知の温室効果気体の中で最大であることから、今後の対流圏熱収支に及ぼす影響が懸念され、その対流圏での動態の解明は急務であると考えられる。現在のSF<sub>6</sub>の大気中濃度は、約3pptvと非常に微量である。そのため、大気中SF<sub>6</sub>の測定は非常に難しく、信頼性の高いデータを得るための十分な検討がまだ必要であると考えられる。

本報では、今まで本研究室で行ってきた、大気中SF<sub>6</sub>測定法の検討結果と、北海道大学地球環境科学研究科棟屋上における、大気中SF<sub>6</sub>濃度測定の結果を報告する。

### 【実験方法】

#### 1. 分析装置

SF<sub>6</sub>分析装置、及び、標準ガス調整を図1に示す。

SF<sub>6</sub>分析装置A、B;この装置は大きく分けて、試料ガス導入部Aとガス分離検出部Bの2つの部分から構成されている。試料ガス導入部Aは、6方コックの操作により、真空にしたサンプルループ(2ml)内に試料ガスを充填する。このときのサンプルループ内の試料ガス圧力は、圧力計で計測した。この値を用いて、圧力補正を行った。次に、試料ガスを、ガス分離検出部Bに導入する。ガス分離検出部Bは、Shimadzu GC14Bを用い、モルキュラーシーブで試料ガスを分離し、ECD(電子捕獲検出器)でSF<sub>6</sub>を検出した。このGC-ECDの分析条件を、表1に示す。

標準ガス調整装置C;この装置は、既知容量を持つ、2種類のステンレスタンク(54.13ml, 13150ml)と圧力計から構成され、超高純度窒素ガスで希釈し、測定用の、標準ガスを調整した。本研究では、日本酸素株式会社から購入した、2種類の高濃度標準ガス(100, 9.2pptv)から、2.5~4.0pptvの標準ガスを調整した。

#### 2. 試料捕集

1996年7月25日~10月27日までの期間、北大地球環境科学研究科棟屋上にて、あらかじめ真空にしたサンプルボトル(内側を電解研磨処理したステンレス製ボトル)に、大気試料を約1000ml捕集した。午前、午後それぞれ6:00の1日2回の捕集を、5日ごとに行った。

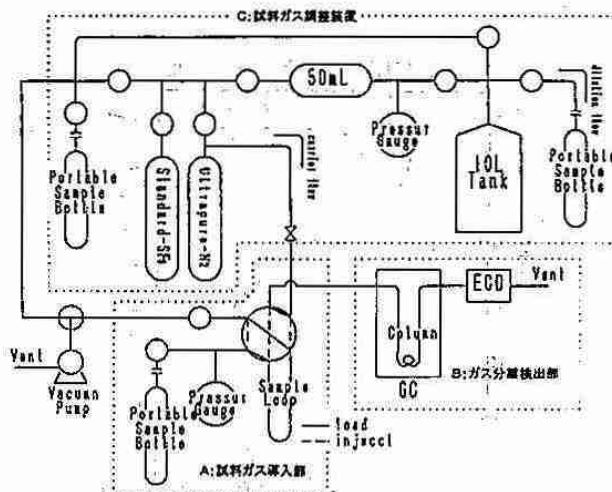


図1 SF<sub>6</sub>分析装置、標準ガス調整装置

表2 本研究における分析条件

| 分離システム          |  |
|-----------------|--|
| Shimadzu GC-14A |  |
| カラム             | ステンレス<br>100cm×0.3cm ID<br>Molecular sieve 5A, 80/100 mesh |
| 温度              | 55 °C  |
| 流速              | 22 ml/min  |
| 検出システム          |  |
| 電子捕獲検出器 (ECD)   |  |
| 温度              | 330 °C   |
| Range           | ×10  |
| Current         | ×0.5   |

【結果と考察】

1. 測定法の検討

いったん標準ガスを希釈調整すると、その濃度は標準ガスに比べて 100 万分の1以下になってしまうので、その保存性を確かめる実験を行った。希釈調整した標準ガスを、13150ml のタンクに約 150 時間保存した。この時の、経過時間とタンク内濃度との関係を調べた。(図2参照)

次に、標準ガス(2.5pptv)を繰り返し 12 回測定し、繰り返し精度を調べた。この結果、繰り返し精度は 7.8%(相対標準偏差)であった。

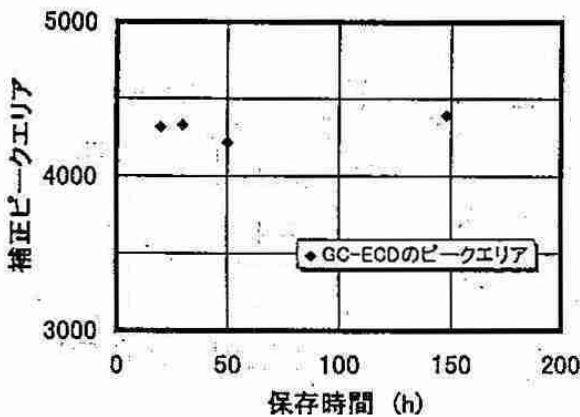


図2 保存時間によるSF<sub>6</sub>の変化

2. 大気中 SF<sub>6</sub> 濃度の測定結果

札幌市(北大)上空で観測した、大気中 SF<sub>6</sub> 濃度の時間変化を図3に示す。ここでは、午前、午後 6:00 に観測された、大気中 SF<sub>6</sub> 濃度から、SF<sub>6</sub> 濃度の周日変動について考察した。また、観測された、大気中 SF<sub>6</sub> 濃度の経時変化から、現在(1996 年 10 月 27 日)の札幌市(北大)上空の SF<sub>6</sub> 濃度の見積もりを行った。

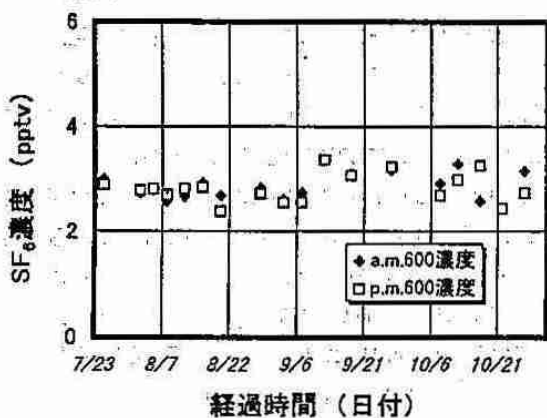


図3 大気中SF<sub>6</sub>濃度の時間変化

午前、午後での、大気中 SF<sub>6</sub> 平均濃度と標準偏差はそれぞれ、 $2.9 \pm 0.3 \text{ pptv} (n=18)$ 、 $2.9 \pm 0.3 \text{ pptv} (n=18)$ であった。よって、それぞれの時間における大気中 SF<sub>6</sub> の濃度差は、有意でない結論され、札幌市上空では SF<sub>6</sub> 濃度の周日変動がないことがわかった。

現在(1996 年 10 月 27 日)の札幌市(北大)上空の SF<sub>6</sub> 濃度の見積もりを行うにあたり、1996 年 7 月～10 月までの、合計 36 試料を基に考えた。大気中 SF<sub>6</sub> 濃度は、一般的に二次関数的に、上昇していることが知られている(Maissら1996)。しかしながら、ここでは観測期間が短いので、直線近似で現在の、大気中 SF<sub>6</sub> 濃度を見積もった。時間経過と大気中 SF<sub>6</sub> 濃度の関係は、

$$C = (0.0028 \pm 0.0015)t + (2.7 \pm 0.3)$$

C: 大気中 SF<sub>6</sub> 濃度 (pptv)

t: 観測開始からの時間(day) ( $1 < t < 95$ )

となった。よって、現時点 1996 年 10 月 27 日 ( $t=95$ )での、大気中 SF<sub>6</sub> 濃度は  $3.0 \pm 0.4 \text{ pptv}$  と見積もられた。この値は、他の報告例(Maissら1996、Lawら1994)に一致するものであり、この測定方法の有効性を裏付けるものでもある。

次に、上式より現在の大気中 SF<sub>6</sub> 濃度上昇率を求めた。

$$\begin{aligned} dC/dt_{(1996)} &= (0.0028 \pm 0.0015) \times 365 \\ &= 1.0 \pm 0.5 (\text{pptv } y^{-1}) \end{aligned}$$

この値は、Maissら(1996)により報告された1994年時の濃度上昇率  $0.23 \text{ pptv } y^{-1}$  に比べはるかに高い。この見積もりのずれは、観測期間の短さ、及び、測定精度によるものと考えられる。このように、大気中濃度に対して、極めて小さな濃度変化を見積もるには、継続した長期間の観測が重要になってくる。

【まとめ】

現時点での、大気中 SF<sub>6</sub> 濃度は  $3.0 \pm 0.4 \text{ pptv}$  と見積もられた。しかしながら、大気中 SF<sub>6</sub> の動態を解明するには、今回の観測期間では不十分である。今後の継続観測が不可欠である。

【参考文献】

Ko M. K. W., Sze N. D., Wang W. C., Shia G., Goldman A., Murcray F. J., Murcray D. G. and Rinsland G. P. (1993) *J. geophys. Res.* 98, 10499-10507.  
 Law G. S., Watson A. J. and Liddcoat M. I. (1994) *Marine Chemistry* 48(1), 57-69.  
 Maiss M., Steele L. P., Francey R. J., Fraser P. J., Langenfelds R. L., Trivett B. A. and Levin I. (1996) *Atmos. Environ.* 30, 1621-1629.



## 10. 都市大気中の COS, CS<sub>2</sub> の測定

○荒波一史・田中教幸・角皆静男(北大院・地球環境)

### 1.はじめに

硫化カルボニル(COS)は、自然発生する揮発性硫黄化合物の中で、OH ラジカルと比較的ゆっくり反応するという点でユニークな存在であり、そのため対流圏での寿命が長く(1年以上)、平均濃度も高い(約 500ppt)。そしてこの長い寿命のために、大量の COS が成層圏へ輸送される。さらに成層圏には硫酸塩エアロゾル層が恒常的に存在しており、地球の放射収支に影響を与える。COS はその供給源として重要である。

COS の供給源は、対流圏での二硫化炭素(CS<sub>2</sub>)の酸化(30%)、海洋(28%)、土壌(24%)、バイオマスの燃焼(12%)であり、COS の除去源は、植物への取り込み(71%)、OH ラジカルとの反応(22%)であるが、COS の収支は除去源よりも供給源の方が約2倍大きい。一方 CS<sub>2</sub> の供給源は、化学工業(58%)、海洋(34%)であり、CS<sub>2</sub> の除去源は、OH ラジカルとの反応(100%)である(Chin and Davis, 1993)。

大気中 COS の長期観測(May 1977~Mar.1991)からは、夏に最大、冬に最小という季節変動が示されたが、経年変化はみられなかった(Rinsland et al., 1992)。また最近 Bartell et al.(1995)により、下部対流圏における COS の連続測定(Feb.1992~Sept.1994)が行われた(Fig.1)が、これによると、春に最大、秋に最小という CO<sub>2</sub> と似たような季節変動が得られた。しかし COS のデータは不足しており、まだはっきりとしたことが分からないというのが現状である。

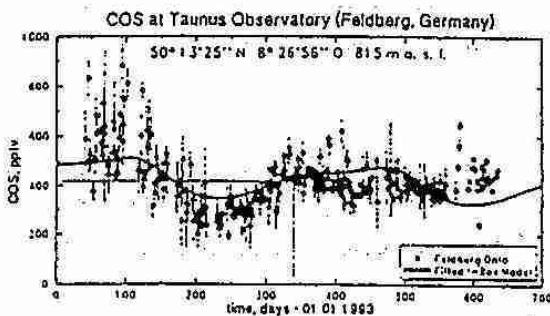


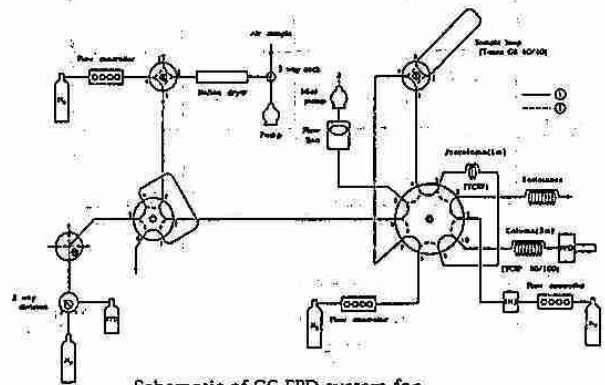
Fig.1

本研究では COS の長期変動の観測を目的に掲げており、今回の発表では札幌市大気中の COS, CS<sub>2</sub> 観測(Aug.1996~Oct.1996)から、都市大気中における COS, CS<sub>2</sub> の挙動について考察する。

### 2.測定

大気中 COS, CS<sub>2</sub> の分析は Fig.2 に示した装置により行われた。大気試料は、北海道大学地球環境科学研究科屋上の大気を

ナフィオンドライヤーを通し脱水しながら、ポンプで約 30 分間(約 5l)引き、TenaxGR(60/80)にゴールドトラップ(-70°C)した後、温水(90°C)で脱着して GC-FPD(島津 GC-14B)で分離定量した。分離カラムには、内径 3mm 全長 4(=1(pre)+3(main))m のステンレスカラムに TCEP(80/100)を充填したものをを用い、キャリアーガスには N<sub>2</sub>を用いた。



Schematic of GC-FPD system for determination of COS and CS<sub>2</sub> concentration

Fig.2

検査線は各測定期間の前後で引き、値はその2つの値の平均値をとった。この期間におけるこの装置の測定精度は、COS, CS<sub>2</sub> 共に約5%だった。

### 3.結果と考察

Fig.3,4 はそれぞれ地球環境科学研究科屋上で、1996年 8/18 から 10/9 まで5期間にわたり観測された COS, CS<sub>2</sub> の大気濃度である。

1期目は 8/18(5:30-6:00)に測定し、8/18(13:30-14:00)から 12 時間毎に 8/23(1:30-2:00)まで合計 12 試料を測定した。2期目は 9/3(13:30-14:00)から 12 時間毎に 9/6(13:30-14:00)まで合計 7 試料を測定した。3期目は 9/17(12:30-13:00)から 2 時間毎に 9/18(14:30-15:00)まで合計 14 試料を測定した。4期目は 9/30(9:00-9:30)から 2 時間毎に 9/20(21:00-21:30)まで合計 7 試料を測定した。5期目は 10/8(11:00-11:30)から 3 時間毎に 10/9(20:00-20:30)まで合計 11 試料を測定した。

Fig.5,6 はそれぞれ1期目の COS, CS<sub>2</sub> の大気濃度である。この期間の気象条件は、8/18-21 晴れ、8/20 頃から風が強くなり始め、8/22 曇り、8/23 雨であった。これらの図において、昼に高濃度(平均値 COS 550ppt, CS<sub>2</sub> 60.2ppt)夜に低濃度(平均値 COS 450ppt, CS<sub>2</sub> 51.6ppt)という COS, CS<sub>2</sub> の日変動が得られた。またその変動幅は CS<sub>2</sub> よりも COS の方が気象条件の影響を受



けやすいことが分かった。

Fig.7.8 はそれぞれ3期目の COS,CS<sub>2</sub> の大気濃度であり、Fig.5.6 よりも詳細に日変動を捉えたものである(平均値 COS 449ppt,CS<sub>2</sub> 33.0ppt),(最大値 COS 497ppt,CS<sub>2</sub> 45.2ppt),(最小値 COS 415ppt,CS<sub>2</sub> 27.2ppt)。この期間の気象条件は、ずっと曇りで風向風速もほぼ一定(南東 3m/s)だった。

Fig.5-8 から推測できることは、COS,CS<sub>2</sub> の日変動が主に人間活動や大気鉛直混合に対する安定度(温度逆転層の高さ)に依存しているということである。

Fig.3.4 では夏から秋にかけて COS の大気濃度が減少していることが分かる(-189ppt=311ppt-500ppt)。CS<sub>2</sub> も減少しているが、測定値のパラツキのようにも見える。

Fig.3.4 から推測できることは、COS の季節変動が主に生物(植物)活動に依存しているということである(CS<sub>2</sub> の季節変動についてはよく分からない)。

4. まとめ

札幌市(地球環境科学研究科屋上)大気中の COS, CS<sub>2</sub> の観測を行った(Aug.1996~Oct.1996)。

この観測から COS, CS<sub>2</sub> の日変動と COS の季節変動を得た。これから推測できることは、COS,CS<sub>2</sub> の日変動が主に人間活動や大気鉛直混合に対する安定度(温度逆転層の高さ)に依存しており、COS の季節変動が主に生物(植物)活動に依存しているということである。

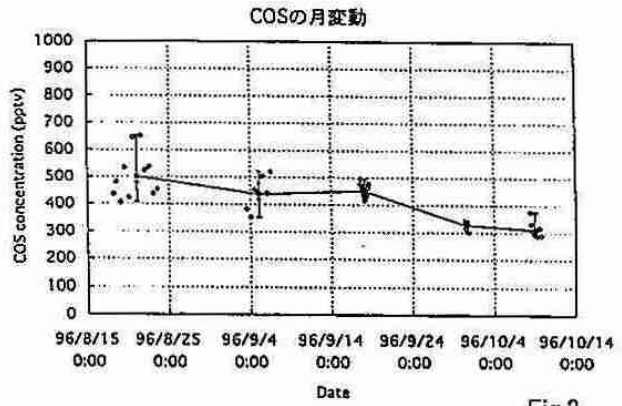


Fig.3

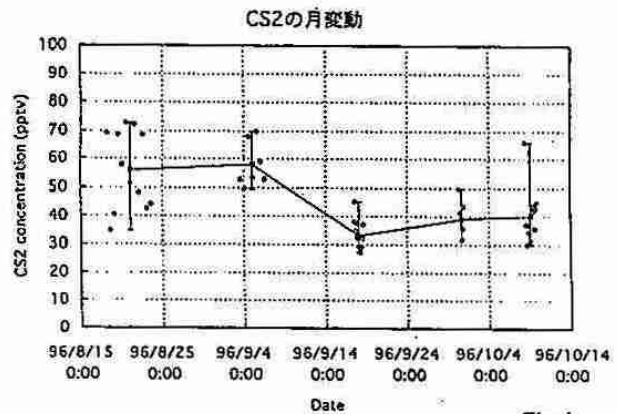


Fig.4

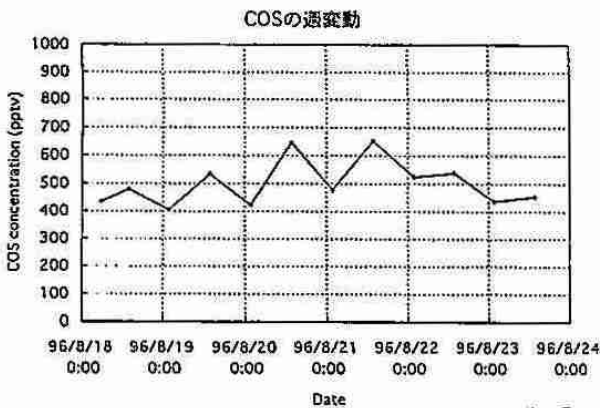


Fig.5

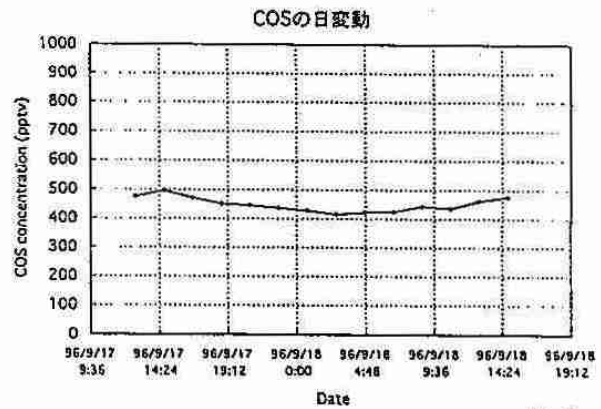


Fig.7

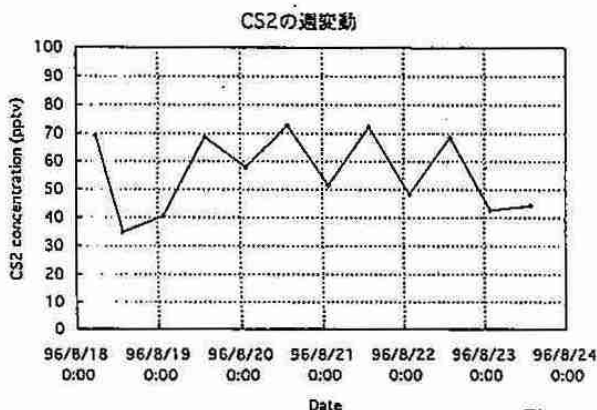


Fig.6

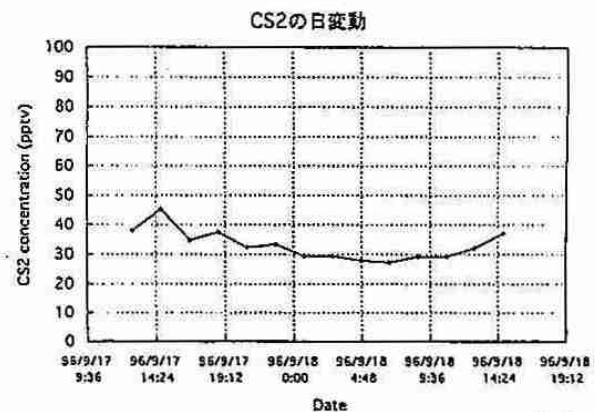


Fig.8

—発表会要旨②—

平成9年度第1回支部研究発表会要旨

日時：平成9年6月9日（月）

場所：北海道大学 百年記念会館（大会議室）

|   |              |
|---|--------------|
| 1. 対流雲と層状雲における雨滴粒径分布の特徴.....  | 42           |
| 北大院・理   | 橋本 明弘・播磨屋敏生  |
| 九大・理  | 高橋 勲         |
| 金沢大・工   | 村本健一郎        |
| 気象研ドップラーレーダー観測グループ  |              |
| 2. 石狩湾で観測された筋状降雪雲の熱力学構造のリトリバル.....                                      | 44           |
| 北大・低温研  | 岩本 勉之・川島 正行  |
| 〃   | 牛山 朋来・藤吉 康志  |
| 〃   | 竹内 謙介        |
| 大阪教育大   | 吉本 直弘        |
| 3. VISSR/GMS-5 6.7 $\mu$ m Channel Data の量的な評価—1996年暖候期、高層データとの比較—..... | 46           |
| 北大院・理   | 尾崎 尚則・上田 博   |
| 4. 衛星リモートセンシングによる沿岸海域の汚濁解析.....   | 48           |
| 北大院・工   | 小林 拓・太田 幸雄   |
| 5. カナダ北極圏の擾乱の構造.....  | 50           |
| 北大院・理   | 遊馬 芳雄・岩田 絵司  |
| 〃   | 菊地 勝弘        |
| Univ. of toronto  | G.W.K. Moore |
| 東大・海洋研  | 木村 竜治・坪木 和久  |
| 6. ユーラシアパターンの変動とメカニズム.....  | 52           |
| 北大院・地球環境  | 大橋 康昭・山崎 孝治  |
| 7. 成層圏—対流圏の残差平均子午面循環の季節変化と波数ごとの寄与.....                                  | 54           |
| 北大院・地球環境  | 薛 東一・山崎 孝治   |
| 8. 赤道成層圏界面付近に見られる温度擾乱の解析.....   | 56           |
| 北大院・地球環境  | 林 寛生・塩谷 雅人   |
| 9. 太陽直達光と周辺光の分光観測による ADEOS/OCTS の地上支援.....                              | 58           |
| 北大・低温研  | 青木 一真・遠藤 辰雄  |
| 東大・気候システム   | 中島 映至        |

# 1. 対流雲と層状雲における雨滴粒径分布の特徴

橋本明弘・播磨屋敏生(北大院・理)・高橋劭(九大・理)

・村本健一郎(金沢大・工)

気象研ドップラーレーダー観測グループ

## 1 はじめに

地上で観測される雨滴粒径分布は雲内での降水形成過程や雲底下での蒸発過程などと密接に関係していると思われる。また雨滴粒径分布は気象レーダーの反射強度から降水強度を見積もる際に重要な要素である。

1996年梅雨期に行われたTREXの一環として雨滴粒径分布の測定を行った。この時のデータを主成分分析を用いて解析し、雨滴粒径分布の一般的な特徴と対流雲と層状雲における雨滴粒径分布の特徴を調べたので報告する。

## 2 観測

期間 1996年6月19日-7月7日

場所 種子島南種子町

測器 雨滴粒径分布計(森技研)、ラピッド雨量計(レスカ社)

## 3 データ

雨滴粒径分布計は最小粒径0.45mm、分解能0.1mmで最小10秒間隔の粒径別個数を測定できる。解析には粒径0.2mm、時間2分にわたって平均したデータを用いた。ラピッド雨量計は最小降水強度0.12mm/hで最小2秒間隔の降水強度を測定できる。解析には時間2分にわたって平均したデータを用いた。雨滴粒径分布計の測定値から算出した降水強度とラピッド雨量計によって得られた降水強度は良く一致した。

## 4 解析

測定された雨滴粒径分布データを主成分分析を用いて解析した。主成分分析を行う際にはある粒径での個数が0である個所を少なくするため、粒径0.45mmから2.45mm(0.2mm間隔)までの比較的小さい粒径範囲の平均数濃度を10個の変量として用いた。

降水雲が対流雲であるか層状雲であるかは、屋久島に設置された気象研ドップラーレーダーによる反射強度データを用いて判別した。なおこの際にブライトバンドの有無によって対流雲と層状雲とを判別し、判別しにくいものは除外して解析した。

## 5 解析結果

主成分分析によって得られた10個の主成分のうち第一主成分と第二主成分の寄与率は67.6%と13.6%であった。これらを合計した累積寄与率は81.2%となり、粒径分布の変動の大部分は第一、第二主成分によると言える。

第一主成分は、図1(a)のように第一主成分の固有ベクトル成分がすべての粒径で正の値をとっており、これは図1(b)のように第一主成分のスコア(score(1))が増加するとすべての粒径で数濃度が増加するような変動を表している。第二主成分は、図2(a)のように第二主成分の固有ベクトルが小さな粒径で負の値をとり、大きな粒径で正の値をとっている。これは図2(b)のように第二主成分のスコア(score(2))が増加すると小さな粒径で数濃度が減少し、大きな粒径で数濃度が増加するような変動を表している。

score(1)は降水強度と良い相関を持ち、相関係数

は0.98であった。一方score(2)は粒径分布を式

$$N = N_0 \exp(-\lambda D)$$

のように指数関数型と仮定した場合のスロープ値 $\lambda$ と良い相関を持ち、相関係数は-0.98であった。以上から第一主成分は粒径分布の数濃度方向への平行移動を表し、score(1)は降水強度と相関のある特徴量であると言える。第二主成分は粒径分布のシーソーのような動きを表し、score(2)はスロープ値と相関のある特徴量であると言える。

図3はscore(1)の値別に平均した粒径分布を点線で示し、score(1)と降水強度が良い相関を持つことを用いて、図1(b)のscore(1)のそれぞれの範囲を降水強度の範囲になおしたものである。また降水強度が3.4~6.7mm/hの粒径分布データの中からscore(2)が最大のもの(黒丸)と最小のもの(白丸)をピックアップしたものをプロットしている。この図から雨滴粒径分布の一般的な特徴として、平均値でみると降水強度の増加にともなう、数濃度が増加する方向へ平行移動すること、また個別にみるとその他に傾きの変化も含まれていることがわかる。

前述のscore(1)とscore(2)を用いて対流雲と層状雲の粒径分布の特徴を示したのが図4である。対流雲と層状雲はscore(1)の値が大きく異なっていることがわかるが、対流雲は図の右下、層状雲は図の左上にプロットされており、実線で示される境界によって領域が分けられると思われる。図5(a)は図4において横軸に散布図を射影して得られたscore(1)の度数分布を示し、図5(b)は図4において破線で示される軸に散布図を射影して得られた度数分布を示している。図5(a)よりも図5(b)の方が対流雲と層状雲の度数分布がよく分かれていることがわかる。

図4のscore(1)を降水強度で、score(2)をスロープ値で書き換えると、図6のようになる。図6の実線は図4の実線に対応するものである。図6から、対流雲と層状雲は図中の実線で分けられ、降水強度が大きい時はスロープ値のしきい値が小さく、降水強度が小さい時はスロープ値のしきい値が大きいことがわかる。

## 6 まとめ

今回の解析によって次のことがわかった。(1)雨滴粒径分布は平均値でみると、降水強度が大きくなるのにもなう数濃度が増加する方向へ平行移動する。また個別にみるとその他に傾きの変化もみられる。(2)対流雲と層状雲の雨滴粒径分布の特徴は式

$$\lambda = -2.59 \log R + 3.47$$

で分けられる。

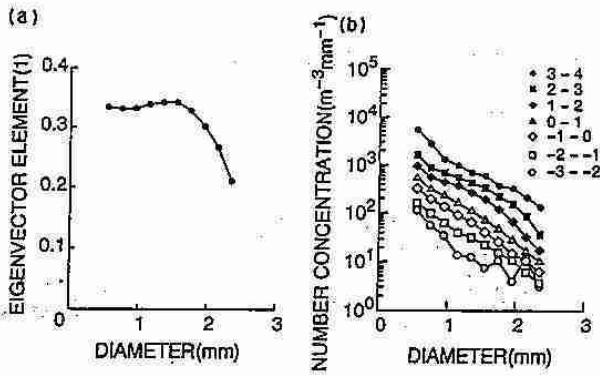


図1.(a) 第一主成分の固有ベクトルの成分。(b) score(1) の値毎に平均した雨滴粒径分布。(スコア値は図の右肩に示している)

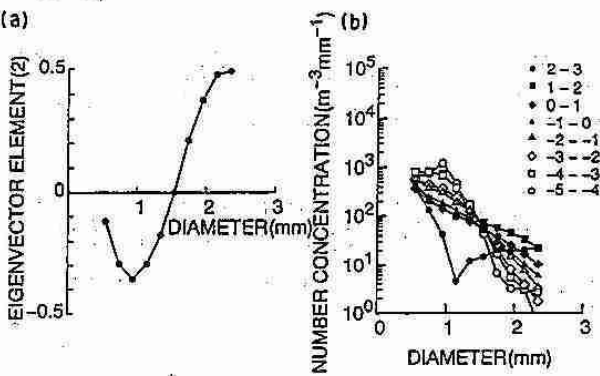


図2.(a) 第二主成分の固有ベクトルの成分。(b) score(2) の値毎に平均した雨滴粒径分布。(スコア値は図の右肩に示している)

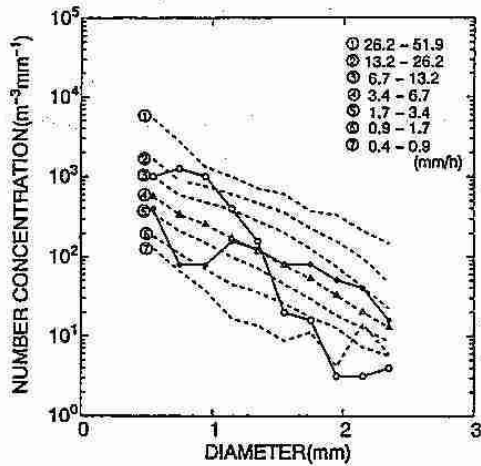


図3. 降水強度毎の雨滴粒径分布 (点線) と降水強度 3.4~6.7mm/h の条件下の平均粒径分布 (白三角) に対して傾きの最もゆるい分布 (黒丸) と最もきょうな分布 (白丸)。

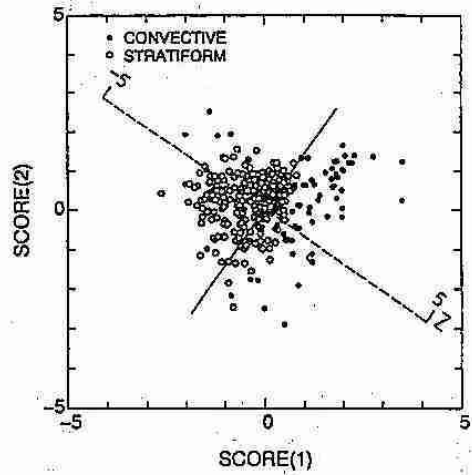


図4. score(1) と score(2) を用いた対流雲と層状雲との比較。

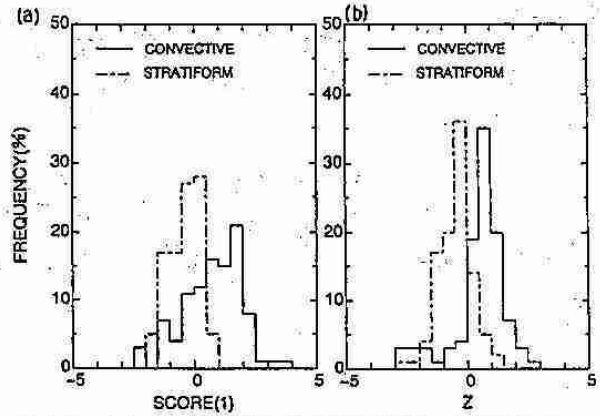


図5.(a) 図4において横軸に散布図を射影して得られた度数分布。

(b) 図4において破線で示される軸に散布図を射影して得られた度数分布。(横軸は中心からの距離)

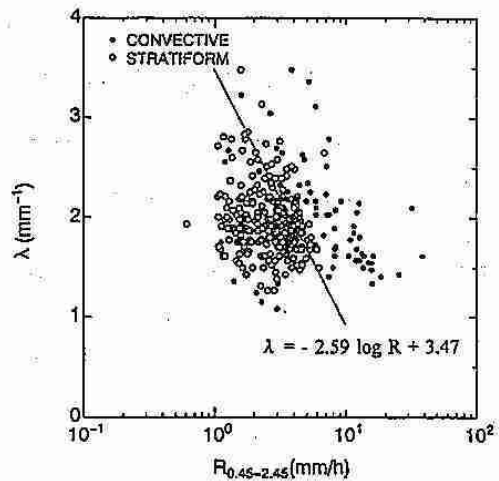


図6. 降水強度とスロープ値 $\lambda$ を用いた対流雲と層状雲との比較。



## 2. 石狩湾で観測された筋状降雪雲の熱力学構造のリトリバル

\*岩本勉之, 川島正行, 牛山朋来, 藤吉康志, 竹内謙介(北大低温研),  
吉本直弘(大阪教育大)

### はじめに

冬期海上で発生する降雪雲に関しては、これまで観測、理論とも多くの研究が行われてきた。特に近年では、ドップラーレーダーによる観測が盛んに行われ、降雪雲内部の詳細な気流構造が調べられている。しかし、降雪雲の形成維持機構を理解するのに必要な、熱力学構造はまだ明らかになっていない。そこで本研究では、冬期石狩湾で観測された主風向にほぼ平行な走向を持つ筋状降雪雲に対し、熱力学のリトリバル法を用いて降雪雲内の熱力学構造の解析を試みた。

### データ

事例は1992年1月15日13時01分に石狩湾で観測されたものを用いた。図1はこのときの高度1kmにおけるレーダーエコーの水平断面である。小樽と厚田に設置された2台のドップラーレーダーによる観測からデュアル解析によって3次元の風速場を求めた。図1に示す小領域を切り出し、解析領域とした。さらに、石狩でのレーウインゾンデ観測によって得られた気圧・温度・水蒸気量の鉛直プロファイルの基本場のデータとして用いた。

### 解析手法

熱力学のリトリバル法は、Roux and Sun(1990)の方法を用いた。対象とした降水バンドは定常正が高いと考えられるため、運動方程式の時間変化項を省略した。また、Marécal et al.(1993)による雲氷のパラメタリゼーションを熱力学方程式に加えた。熱力学のリトリバル法により、レーウインゾンデによって得られた基本場(降雪雲の外の場)からの気圧偏差と温度偏差を求め、解析を行った。

### 解析結果

図2は図1に実線で示した場所におけるレーダーエコーと風速のバンドに直交する鉛直断面である。風の場合は下層で収束、上層で発散しており、比較的単純な構造を示している。なお、解析対象とした降水システムはバンドの方向に2次元性が高いので、以下この断面内でのみ議論を行う。

熱力学のリトリバルによって得られた気圧偏差のうち、流れの場に伴って生ずる成分(dynamic part)を図3に示す。上昇域では全層で正の気圧偏差が見られるが、下層でより値が大きい。これは対流による上昇流によって周辺の空気が下層に引きずり込まれる効果よりも、外的な要因、この場合季節風(図2の右側)と地形効果で生じた風速成分(同左側)との収束の効果の方が大きいことを示している。

図4に、気圧偏差のdynamic partから求めた気圧傾度力の鉛直成分を示す。また図5に、熱力学のリトリバル法によって得られた温度偏差から求めた浮力の鉛直分布を示す。気圧傾度力は高度1kmを境として下層では正、上層では概ね負の値を示している。これに対し浮力は、上昇域下層では比較的値が小さく、高度1kmを越えると大きな正の値を示している。以上のことから、この降水システムにおいては、地形の効果によって下層で上向きの気圧傾度力を生じ、対流が強化されていると考えられる。

また、レーダーエコーから求めた雪のloadingを図6に示す。降水の激しい場所では気圧傾度力や浮力を上回る負の値を示しており、降雪雲の発達や衰退に関して無視することのできない量であると考えられる。

### まとめ

1992年1月15日の13時01分の事例に関して熱力学のリトリバルを行なった結果、以下のことがわかった。

- 地形効果による西風と季節風との収束によって正の気圧偏差を生じている。この影響により高度1km以下では空気塊が強制的に上昇する効果が大きい。
- 高度1km以上では凝結に伴って生ずる浮力によって対流が起こっている。
- 雪の荷重が対流活動に大きな影響を与えている。

### 今後の課題

本研究では熱力学のリトリバル法の結果を用いた定性的な議論に終始したが、より定量的な議論を行うために、結果の精度を向上させる必要がある。そのためには観測をよりリトリバル法を意識したものにする必要があるであろう。具体的には、

- レーウインゾンデの上げ方
- ドップラーレーダーの配置
- リトリバルの結果の検証に用いるための観測(航空機などによる観測)

の3点を考慮した観測を行う必要があると思われる。

### 参考文献

Marécal, V., D. Hauser, and F. Roux, 1993: The 12/13 January 1988 Narrow Cold-Frontal Rainband Observed during MFD/FRONTS 87. Part II: Microphysics. *J. Atmos. Sci.*, 50, 975-998.

Roux, F. and J. Sun, 1990: Single-Doppler Observations of a West African Squall Line on 27-28 May 1981 during COPT 81: Kinematics, Thermodynamics and Water Budget. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1826-1854.



Ishikari Bay & Snow Band (z=1km) 1301JST

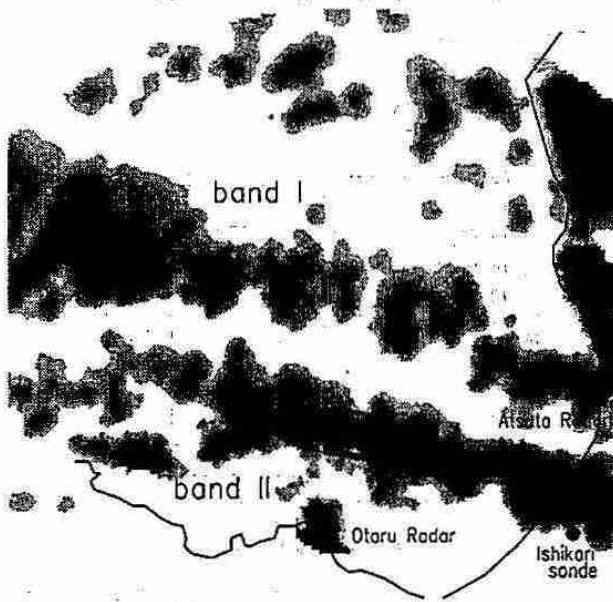


図1:北海道石狩湾周辺の海岸線, 観測地点, および1992年1月15日13時01分の高度1kmにおけるレーダーエコー.

Vertical Distribution of Ze & Wind @x=0km 1301JST

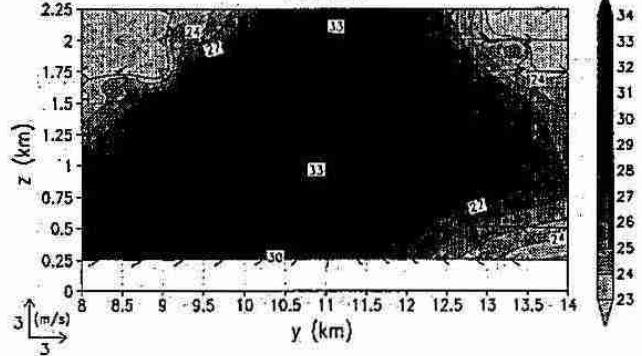


図2:図1に実線で示した解析領域の中央部における, バンドに直交する断面での1992年1月15日13時01分のレーダーエコー (dBZ) と風速 (m/s) の鉛直断面図. 風速は鉛直断面内の風速成分を表す.

Vertical Distribution of Dynamic Pressure 1301JST @x=0km

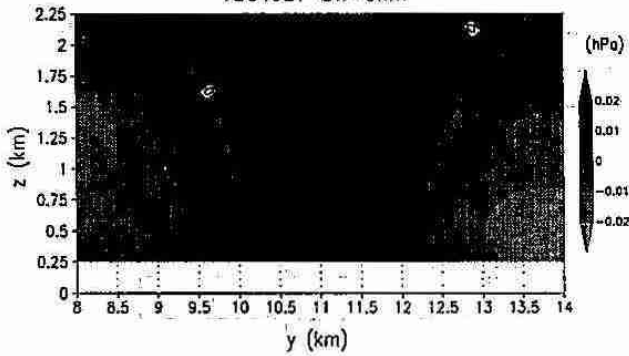


図3:熱力学的リトリーブによって得られたx=0kmにおける13時01分の気圧偏差のdynamic part(hPa).

Vertical Distribution of Dynamic Pressure Gradient 1301JST @x=0km

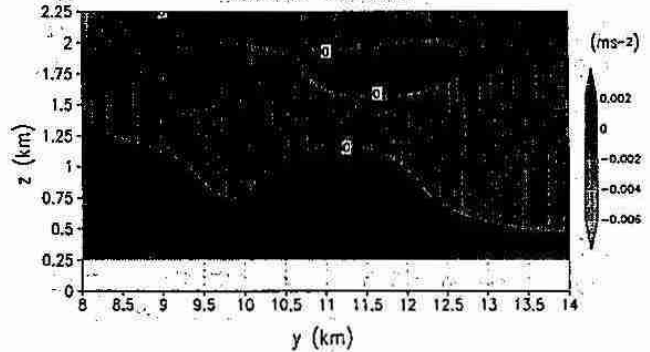


図4:気圧偏差のdynamic part から求めた鉛直方向の気圧傾度力 (ms<sup>-2</sup>) の鉛直分布.

Vertical Distribution of Thermal Buoyancy 1301JST @x=0km

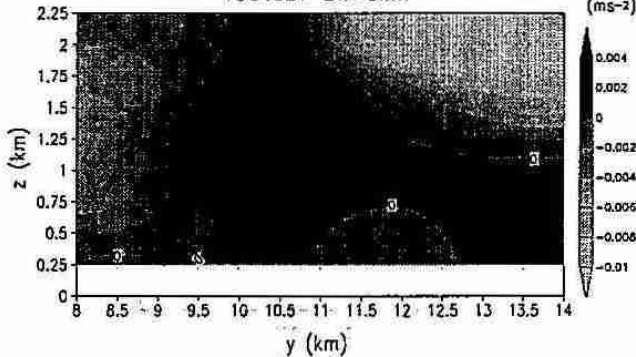


図5:温度偏差に伴う浮力 (ms<sup>-2</sup>) の鉛直分布.

Vertical Distribution of Snow Loading 1301JST @x=0km

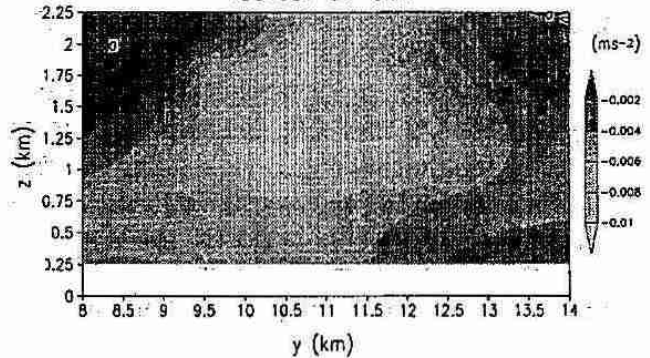


図6:レーダーエコーの分布から求めた雪の荷重 (ms<sup>-2</sup>) の鉛直分布.

### 3. VISSR/GMS-5 6.7μm Channel Data の量的な評価

-1996年暖候期、高層データとの比較-

尾崎 尚則・上田 博 (北大院・理)

#### 1. はじめに

VISSR/GMS-5 の 6.7μm Channel は 1995 年 6 月から正式運用を開始し、VAS/METEOSAT や VAS/GOES 等と同様に、地球大気の水蒸気のインフォメーションを提供している。一般に、これは等価黒体温度(TBB)として与えられる。現在までのところ、この TBB の量的な評価・解析が余り報告されていないのが実状である。本稿では 1996 年の暖候期の高層データをもとに、上部対流圏の水蒸気量と 6.7μm Channel data(TB6.7μm)の量的な評価を行ったので、その結果を報告する。

#### 2. データと解析方法

館野・八丈島・南大東島・父島における 1996 年 6 月 17 日～7 月 14 日迄の高層データ(00, 12UTC)から、500～300hPa の水蒸気量と、それぞれの観測点上の 0.1°×0.1°グリッド(幾何補正施行)の VISSR/GMS-5 の TB6.7μm を用いる。評価・解析は、図1に示す 6.7μm Channel の応答関数をふまえた過重関数(contribution function)に基づいている。この図は McClatchey *et al.* (1972)の中緯度・夏季の標準大気を用いて、contribution function  $C(\log p)$ は、

$$C(\log p) = \int_{x_1}^{x_2} A(x)B(x,T) \frac{\partial \tau(x, \log p)}{\partial \log p} dx \quad (1)$$

に従っている。ここで、 $x$  は波数、 $x_1, x_2$  は積分区間(波数)、 $\tau(x, \log p)$ は透過率、 $A(x)$ は応答関数、 $B(x, T)$ は Planck 関数、 $T$ は気温、 $p$ は気圧をそれぞれ表す。図1から、6.7μm Channel は 400hPa 付近にピークをもち、500hPa～300hPa 間の水蒸気量(WVC)、

$$WVC = \frac{1}{g} \int_{500}^{300} q dp \quad (2)$$

を感じていることがわかる。ここで、 $q$  は比湿、 $g$  は重力加速度を表し、WVC (mm)は単位面積当たりの気柱中の水蒸気量を求めている。

従来、METEOSAT、GOES 衛星に Water Vapor Channel(WV)が搭載された際、例えば Poc *et al.*(1980) や Soden *et al.*(1993)等のように、高層データ及び model simulation との比較から、晴天域のみの TB<sub>wv</sub>の量的な評価がなされている。本稿では、窓領域の赤外データ TB<sub>11μm</sub> を用いて晴天域及び雲域の双方で、TB<sub>6.7μm</sub> から水蒸気量を定量化し、水蒸気リトリバル法とする。

1 VISSR: Visible Infrared Spin Scan Radiometer

2 VAS: VISSR Atmospheric Sounder

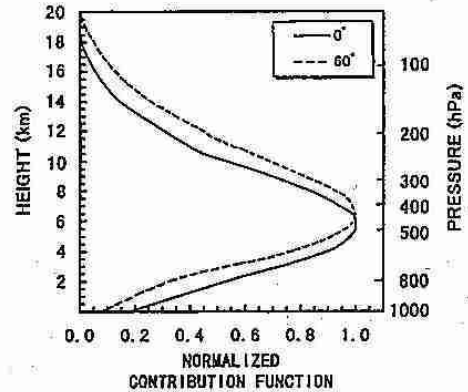


図1 応答関数を加味した過重関数。実線は衛星の天頂角 0°、破線は 60°のものを示す。モデル計算には、中緯度・夏季の標準大気を用いている。

#### 3. 水蒸気リトリバル法

八丈島での 500hPa 以上の水蒸気量と TB<sub>6.7μm</sub> の関係を図 2(a)に示す。この水蒸気量が、TB<sub>6.7μm</sub> の指数関数(図 2 の回帰曲線)で表現できる。

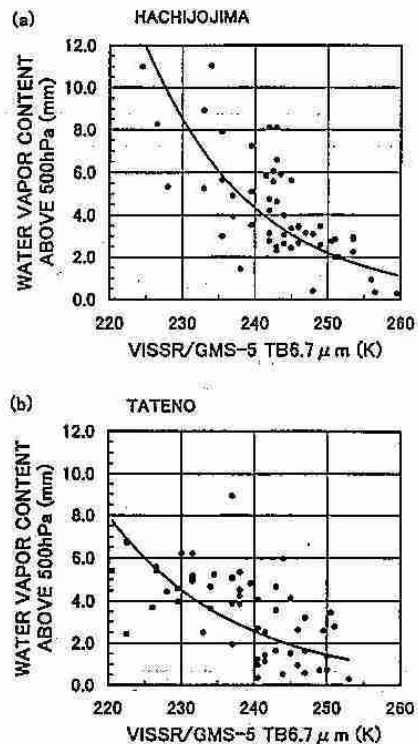


図2 (a) 八丈島、(b) 館野における高層データによる 500hPa 以上の水蒸気量(mm)と TB<sub>6.7μm</sub> (K) の関係。図中の曲線は、回帰曲線を示す。

解析期間中、八丈島では概ね晴天域データが支配的で、この指数関係は Poc *et al.* 等のリトリーバルの結果と良く一致する。次に、雲域データを多数含む館野での結果を図2(b)に示す。図2(a)と比較すると、TB6.7 $\mu\text{m}$ が240K以下で雲の影響を反映し、曲線の傾きが緩くなる。

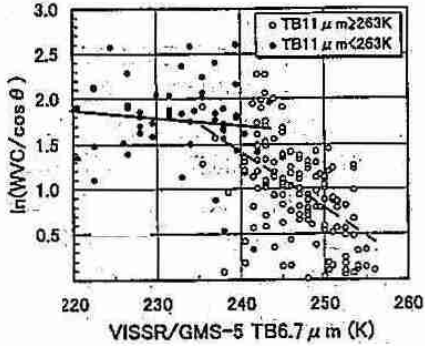


図3 館野、八丈島、南大東島、父島での水蒸気量(観測点の緯度 $\theta$ を加味)とTB6.7 $\mu\text{m}$ の関係。白丸は晴天域(破線の回帰直線)、黒丸は雲域(実線の回帰直線)を示す。

更に、4つの観測点で同様の解析を行い、TB11 $\mu\text{m}$ から一義的(しきい値 263K)に晴天域と雲域を区分した結果を図3に示す。この図は、衛星と高層データの較差(観測点の緯度 $\theta$ の余弦)を加味し、縦軸は対数を用いて表現している。晴天域と雲域のそれぞれの回帰直線は、TB6.7 $\mu\text{m}$ を用いて以下の通りである。

$$\text{(晴天域)} : \ln\left(\frac{WVC}{\cos\theta}\right) = 16.65 - 0.0634 \text{ TB}6.7\mu\text{m} \quad (3)$$

$$\text{(雲域)} : \ln\left(\frac{WVC}{\cos\theta}\right) = 3.722 - 0.0084 \text{ TB}6.7\mu\text{m} \quad (4)$$

TB6.7 $\mu\text{m}$ は、約240Kを境に晴天域・雲域での水蒸気量として、指数関数を用いて表現することができる。

#### 4. 水蒸気リトリーバル法の評価・検証

水蒸気リトリーバル法のテストとして、近似式(3)、(4)を用いて水平面的に水蒸気量をリトリーブしたのが図4である。これは、1996年7月5日12UTCのケースである。この図で、梅雨前線北側のドライな領域や、前線への南西側からの水蒸気の供給のなどがうまく表現できている。このケースで、図4のエリア内のすべての高層観測点データ(27観測点)での高層データからの水蒸気量と、衛星でリトリーブしたものの相関係数を求めると、0.82と非常に良い結果が得られた。また、この図の12時間前でみても、0.75と相関が良いことがわかった。

次に、図5で今回のリトリーバル法のエラーの評価と検証をする。晴天域・雲域を比較すると、相関とバイアス共に晴天域での結果が良いことがわかる。また、双方とも衛星での水蒸気リトリーブがやや過大評価傾向にあることが示された。

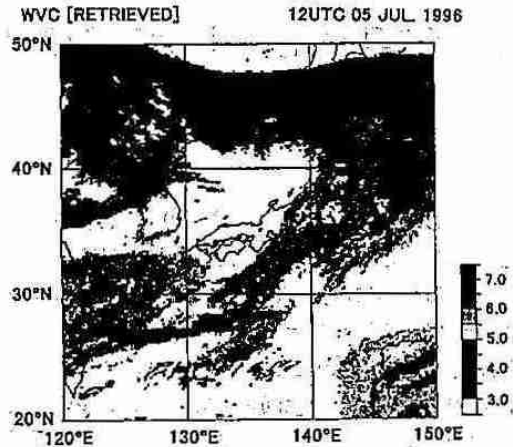


図4 1996年7月5日12UTCのVISSR/GMS-5 TB6.7 $\mu\text{m}$ から水蒸気リトリーバル法で求めた500hPa以上の水蒸気量(mm)。

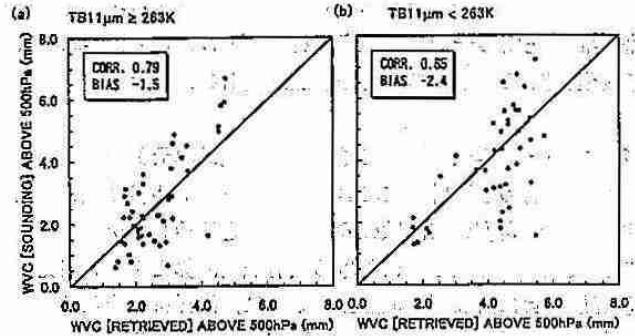


図5 (a) TB11 $\mu\text{m} \geq 263\text{K}$  (b) TB11 $\mu\text{m} < 263\text{K}$ での、高層データから求めた水蒸気量(mm)と、TB6.7 $\mu\text{m}$ からリトリーブした水蒸気量(mm)の関係。データは1996年6月25日と7月5日(それぞれ00、12UTC)である。

#### 5. 考察・まとめ

VISSR/GMS-5のTB6.7 $\mu\text{m}$ から、500hPa以上の水蒸気量を指数関数で定量化できる。またTB11 $\mu\text{m}$ を用いて、晴天域・雲域を含む衛星の視野内で、高い時間分解能での水平面的な水蒸気量の見積もりが可能である。しかし、本稿で図示したデータには分散が見られ、この原因には高層でのsoundingの信憑性の限界等が考えられる。(Elliot and Gaffen, 1991)。また雲域では、系統的なエラーが晴天域よりやや大きく、水蒸気の定量化には今後モデル計算を含め、より詳細な解析を進める必要がある。

#### 参考文献

Elliot and Gaffen, 1991: Bull. Am. Meteorol. Soc., 72, 1507-1520.  
 McClatchey *et al.*, 1972: AFCRL-72-0497, 108pp.  
 Poc *et al.*, 1980: J. Appl. Meteor., 19, 868-876.  
 Soden *et al.*, 1993: J. Geophys. Res., 98, 16669-16688.

## 4. 衛星リモートセンシングによる沿岸海域の汚濁解析

北大・工 小林 拓・太田 幸雄

### 1. はじめに

日本の沿岸の海洋環境は、昭和30~40年代に比べ、清浄さを取り戻しつつあるが、未だに赤潮や青潮、赤土問題などが発生している。このような沿岸海域の汚濁対策を行うためには、汚濁状況を定量的に評価する必要があるが、船舶では広範囲にわたる観測に限界があり、人工衛星によるリモートセンシングが期待されている。海中に入射した太陽放射は、海中で水分子によるレーリー散乱、及び汚濁物質によるミー散乱、吸収を受け、再び海面から上空へ放射される。この上向き放射は、汚濁物質の濃度変化により、例えば清浄海域は濃青色、沿岸海域は緑色、赤潮は赤褐色、黄褐色と変化するため、この海色の変化（上向き放射スペクトルの変化）を測定することにより、海域の汚濁状況を把握することが出来る。この汚濁物質濃度と上向き放射スペクトルとの関係を求める方法に相関解析法と光学的模式法がある。相関解析法は、汚濁物質濃度と上向き放射スペクトルを多くの地点で測定して回帰直線を求める方法である。しかし水中物質の光学的特性を一切無視しているため、統計的に求めた関係が常に適用できるとは限らず、また例えば赤潮は、定常的に発生せず、赤潮毎にプランクトンの光学的特性が違ふ可能性が高いため、相関解析法を適用することはできない。一方、光学的模式法は海水中の溶解物質や懸濁物質、海水分子の吸収係数や散乱係数などの光学的特性を与えて大気・海洋系の光の伝播に関する放射伝達方程式を解く方法である。これまで、この海面からの放射スペクトルを理論的に求めて汚濁物質濃度を推定する手法は開発されておらず、汚濁物質の分布状況を色の違いとして定性的に判別しているのみであった。本研究では沿岸海域汚濁の一例として赤潮を取り上げ、この光学的模式法に基づいてリモートセンシングにより赤潮プランクトン濃度を推定する手法についての基礎的検討を行った。

### 2. 大気・海洋結合系における放射伝達計算モデル

太陽放射の伝達計算において、ルジャンドル多項式を適用したP3近似法に、散乱光角度分布関数の $\delta$ 関数近似を適用したデルタP3近似解法を用いて、大気・海洋結合系における放射伝達計算モデルを開発した。大気は大気境界層、自由対流圏、成層圏の3層に、海洋は表層及びそれ以下の層の2層とした。各層内においては、エアロゾル及びプランクトンなどの光学的特性は一律であるとした。海面は光学的に不連続であり境界条件は、海水の屈折率、反射率、透過率そして立体角の変化を考慮した（図1）

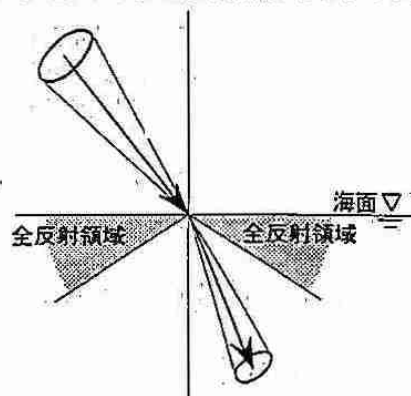


図1 海面での立体角の変化

### 3. 赤潮プランクトンの光学的特性の測定

本研究で用いたデルタP3近似解法による放射伝達計算においては、単一散乱アルベド、散乱光角度分布関数のルジャンドル関数による展開係数、そして消散係数が必要である。そこで実際に2種類の赤潮プランクトン（*Skeletonema costatum*, *Heterosigma akashiwo*）について、国立環境研究所から菌株を入手し培養して、その消散係数と吸収係数を測定し、必要な光学的特性を求めた。以下*Skeletonema*の結果のみを示す。波長550nmでの散乱光角度分布関数から前方散乱が非常に強いことが分かる（図2）。

### 4. 赤潮発生時の上向き放射スペクトルの計算

本計算では、赤潮プランクトンの細胞個数濃度を清浄な海域の1個/mlから濃密な赤潮である $3 \times 10^5$ 個/mlまで増加させ、各波長域の海面直上での上向き放射フラックスを計算した。

#### 4-1 赤潮プランクトンのみを存在させた場合

赤潮プランクトン自身の光学的特性の海面直上での上向き放射フラックスへの寄与を調べるために、赤潮プランクトンのみが海中に存在すると仮定し、計算を行った。結果を図3(a)に示す。清浄な海域である1個/mlの場合のスペクトル（実線）から、濃青色が再現されていることがわかる。しかしプランクトン濃度が増加するとともに海面直上での上向きフラックスが減少した。これは、赤潮プランクトンは前方散乱が卓越し、後方散乱が非常に小さいため、プランクトンの増加

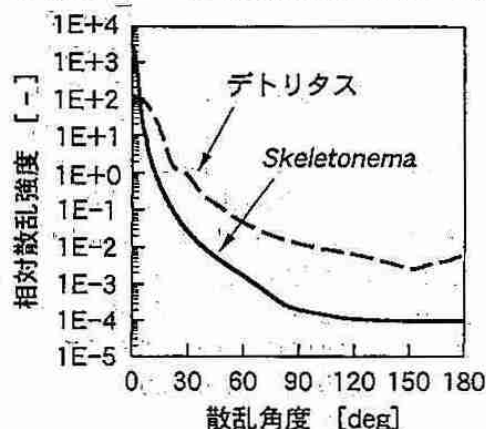


図2 赤潮プランクトンとデトリタスの正規化した散乱光角度分布関数



に伴い、レーリー散乱による後方散乱光はプランクトンに吸収され、海面直上での上向きフラックスは小さくなったためであると推測される。現実の海では、赤潮発生時に海が暗くなることはない。赤潮プランクトン以外に後方散乱を引き起こす散乱体が存在すると考えられる。

4-2 デトリタスを伴わせた場合

実際の海中では、プランクトン以外に後方散乱を引き起こす散乱体が様々存在し、特にデトリタスは、その存在量がプランクトン濃度に比例すると考えられる。そこでデトリタスを赤潮プランクトンとともに海中に発生させ、現実の赤潮のような海色が再現できるかどうか検討した。デトリタスとは、生物に付随して発生する破片・死骸・代謝産物ならびにこれらの分解産物のことである。しかしこれまで、このデトリタスの光学的特性、及び存在割合については、明らかにされていない。そこで今回は、デトリタスはプランクトンの死骸であることから、光合成色素は分解してなくなり、光を吸収しないものと仮定した。粒径分布は正規分布で、平均粒径はプランクトンの1/4とし、プランクトンと同じ体積濃度を存在させた。デトリタスを赤潮プランクトンと共に存在させ、再び同様の計算を行った。結果を図3(b)に示す。個数濃度が増加するにつれて、全波長域にわたり海面直上での上向き放射フラックスが増加している。個数濃度が $3 \times 10^4$ 個/mlまでは580nm以下の短波長領域が特に増加し、海色が緑色に変化した。この濃度を越えると570~590nm付近にピークが出現した。また赤潮プランクトンのみを増加させたときには変化しなかった600nmより長波長領域の海面直上での上向き放射フラックスも増加している。今回設定した最高個数濃度である $3 \times 10^5$ 個/mlに達したとき、580nm前後に強いピークが出現した。この波長は黄色に相当し、実際の*Skeletonema*の赤潮は黄褐色になることから、本計算によりこの海色を再現できたものと思われる。

これらの結果からデトリタスが海色に大きな影響を与えていることが明らかになった。すなわちリモートセンシングにおいて衛星データから赤潮プランクトン濃度を推定するためには、デトリタスの光学的特性と存在量の把握が重要であることがわかった。

5. リモートセンシングによる赤潮プランクトン濃度の推定の可能性

今回の計算を基に、リモートセンシングによる赤潮プランクトン濃度の推定の可能性を検討した。人工衛星は日本の地球観測衛星“みどり”。センサは海色海温走査放射計OCTSを想定した。実際の解析の際は、大気による影響を取り除くために各センサのバンド間の上向き放射フラックスの比を使用する。各バンド間の海面直上での上向き放射フラックスの比を図4に示す。

*Skeletonema*のバンド間のフラックス比をみると、赤潮といわれるような個数濃度が $10^3$ 個/mlを超えるあたりから値が大きく変化し始め、 $10^3$ 個/mlから $3 \times 10^4$ 個/mlの範囲では、精度よく濃度を推定できることがわかる。なお $3 \times 10^4$ 個/mlを超える濃度の高い場合は、海面直上での上向き放射フラックスそのものがかなり増加しており、この放射フラックスを補完的に用いれば高い濃度域でも個数濃度の推定は可能であると思われる。

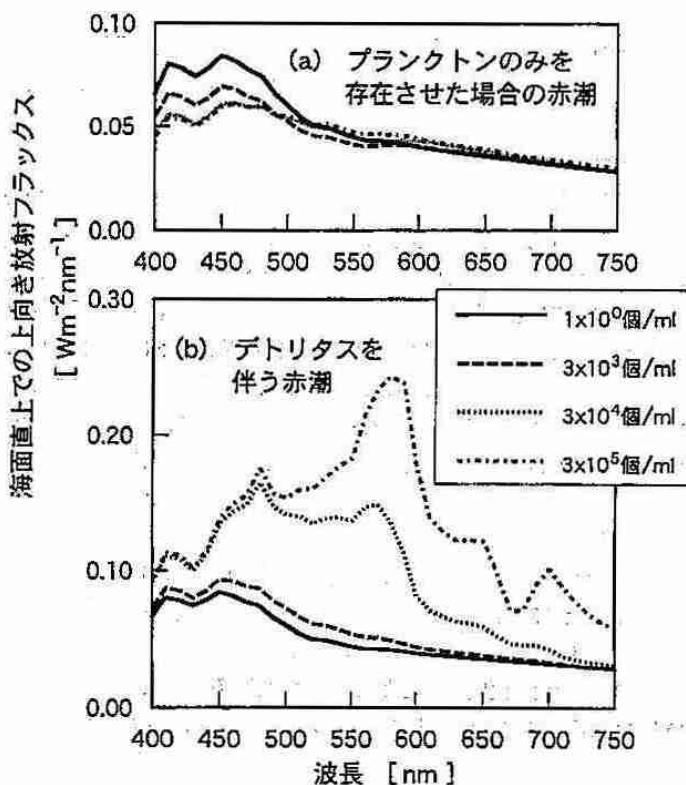


図3 赤潮発生海域における海面直上での上向き放射フラックス

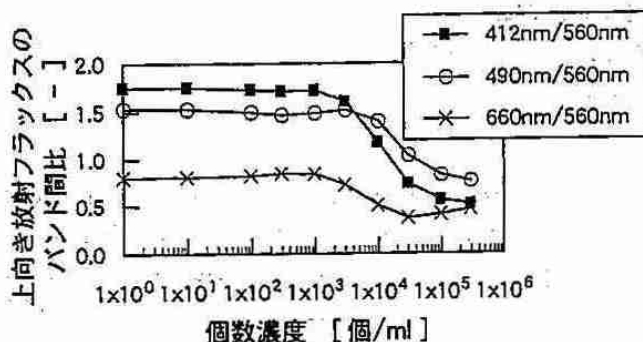


図4 OCTSのセンサバンド間の海面直上での上向き放射フラックス比



## 5. カナダ北極圏の擾乱の構造

遊馬芳雄・岩田総司・菊地勝弘(北大院・理)・G. W. Kent Moore (University of Toronto)

木村竜治・坪木和久(東大・海洋研)

### 1. はじめに

カナダ西部北極圏では北極海の Beaufort 海が氷に覆われる前の晩秋から初冬にかけて、非常に多くの極域擾乱(ストーム)が通過することが報告されている。これらの擾乱の構造や水循環を調べる目的で、BASE (Beaufort and Arctic Storms Experiment) 観測研究計画が1994年秋期 Beaufort 海、Mackenzie Delta 周辺領域のカナダ北極圏で行われた。我が国からも国際学術研究「中緯度の気象・気候に影響を与える極気団の形成と活動に関する研究」(研究代表者: 木村竜治東大海洋研教授)の一環としてこの観測研究プロジェクトに参加した。これまでの解析結果より、この領域では主に2つの擾乱のタイプが多く起こっている。それは“Pacific Origin”タイプと呼ばれる北部太平洋起源の擾乱と、“Storm Track”タイプと呼ばれる北極域起源で Beaufort 海上を東進する擾乱の2つのタイプである。本研究で解析した擾乱は後者に属するタイプで9月30日から10月1日にかけて観測された擾乱(IOP-10)である。

### 2. 解析結果

図1にカナダ大気環境局(AES)による“Storm Track”タイプの擾乱(IOP-10)の総観解析図を示した。図中に示した Tuktoyaktuk に北海道大学大学院理学研究科の偏波ドップラーレーダを設置した。9月30日から10月1日にかけて Beaufort 海上の Ice edge に沿って低気圧が東進している。この低気圧に伴って、はっきりとした温暖前線と寒冷前線が解析されていた。温暖前線は Tuktoyaktuk 上空を30日18UTC頃、寒冷前線は1日00UTC頃通過した。9月30日19:01UTCのNOAA AVHRR 赤外画像を図2に示した。この図中には前線と低気圧の位置が重ね合わされて表示されている。寒冷前線に伴う対流的な比較的低い雲と温暖前線に伴う比較的高層の層状の雲の広がりが見える。この層状雲は閉塞(寒冷)前線の前面を通過して低気圧の中心に巻き込んでいる。また、寒冷前線の後線がはっきりとしていて、後方には海面付近の低層雲だけが見える。Beaufort 海に面した Tuktoyaktuk でのレーダー観測によると断続的に温暖前線に伴った弱い降水エコーと寒冷前線に伴った対流的なバンド状の降水エコーが観測された。10分毎に観測された仰角10度のPPI画像データを基にレーダー反射因子の高度平均値とVAD(Velocity Azimuth Display)法による風向・風速の高度分布を図3に示した。温暖前線の通過に伴って風が比較的均一で断続的な弱い降水エコーと、寒冷前線の通過に伴って下層の高度1km付近に Beaufort 海から流入する北西風の強風層と高度2~3km付近にバンド状エコーの走向に沿った強風層が観測された。寒冷前線通過後の1日03UTCにレーダーサイトから飛揚した高層データを図4に示した。高度約4.3km以下の空気が湿っていて、それ以上の高度での空気は暖かくて乾燥している。高度約1.5km以下では北西風、その上空では西風で、風速は高さとともに増加していた。3時間後の06UTCに飛揚した高層データから上空の乾燥した暖かい空気は高度4.2kmに下がっていた。これは寒冷前線通過後、対流圏上部からの気塊の沈み込みによって生じた乾燥空気によるものと考えられる。

図5に気象庁による客観解析データ(GANAL)から94年9月30日12UTCの地表及び700hPa面の気圧、水蒸気混合比及び水蒸気フラックスの分布図を示した。寒冷前線に伴う水蒸気量の増加と温暖前線に伴う水蒸気の増加が見られ、寒冷前線後面では乾燥空気の上層への進入が見られる。これらの構造はBrowning and Monk (1982)、Browning (1990)等で報告されているイギリス周辺での中緯度の低気圧の構造によく似ていて、それぞれ、“Warm Conveyor Belt”、“Cold Conveyor Belt”、“Dry Intrusion”に対応している。寒冷前線前面の“Warm Conveyor Belt”は Bering 海付近からアラスカ北部上空を通過して水蒸気を東方に輸送し、下層には結氷前の Beaufort 海からの水蒸気の供給が見られる。この様子をイラストで示したのが図6である。

### 3. まとめ

カナダ北極圏で1994年秋期に行われたBASE (Beaufort Arctic Storms Experiment)で観測された“Storm Track”タイプに分類される極域擾乱を解析した。その結果、カナダ北極圏で観測された高緯度の低気圧も、イギリス周辺で報告されている中緯度の低気圧の構造によく似ていて、3つの気流系“Warm Conveyor Belt”、“Cold Conveyor Belt”、“Dry Intrusion”の存在が確認された。“Warm Conveyor Belt”は Bering 海付近からアラスカ北部上空を通過して水蒸気を輸送し、下層には結氷前の Beaufort 海からの水蒸気の供給が見られた。

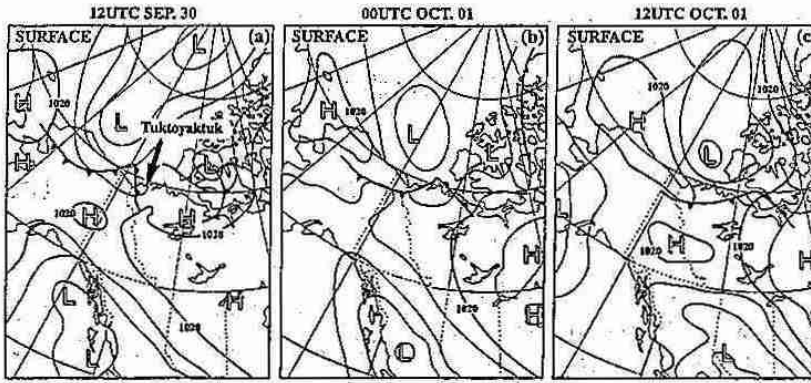


図1. 解析した"Storm Track"擾乱の地上総観解析図。(a): 9月30日12UTC.(b): 10月1日00UTC.(c): 10月1日12UTC.



図2. 9月30日19:01UTCのNOAA AVHRR赤外画像.

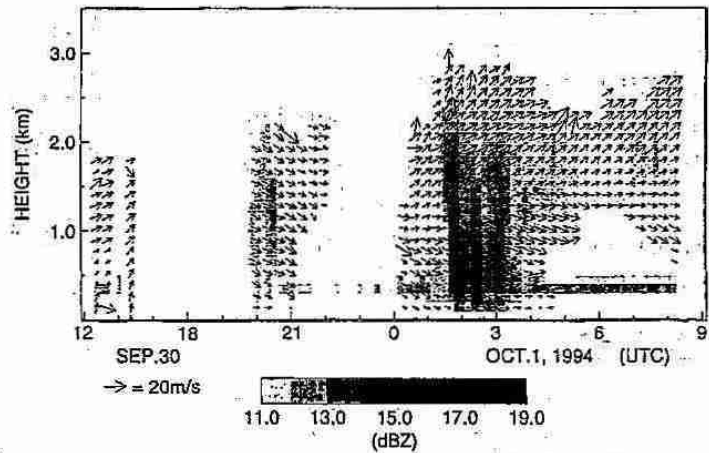


図3. Tuktoyaktukで観測された平均したレーダー反射因子と水平風.

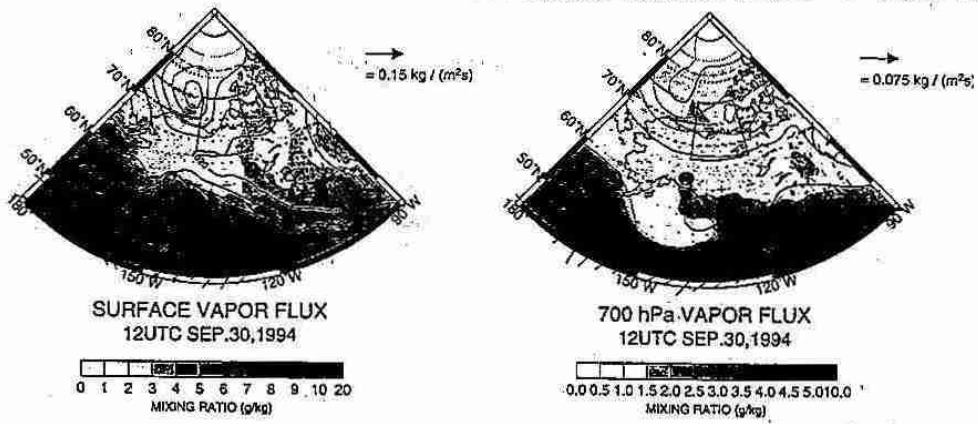


図5. 9月30日12UTCの地表及び700hPaの気圧、水蒸気混合比、水蒸気フラックス.

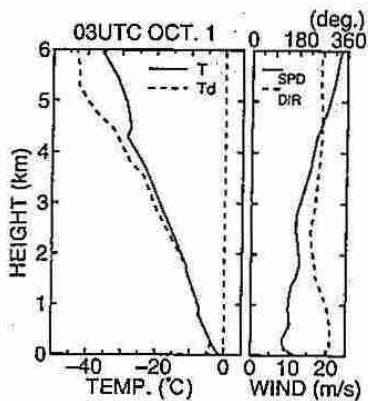


図4. 10月1日03UTCのTuktoyaktukでの高層データ.

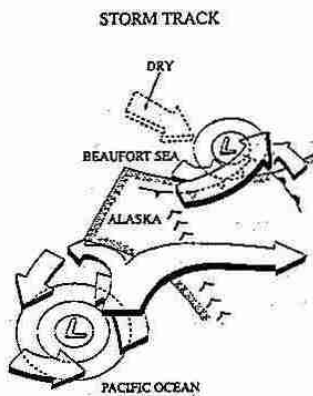


図6. "Storm Track"擾乱の概念図.

## 6. ユーラシアパターンの変動とメカニズム

\*大橋 康昭・山崎 孝治(北大院・地球環境)

### 1. はじめに

テレコネクションパターンの一つで、北欧からロシアを通り日本にかけてのユーラシア(EU)パターンは、変動中心の一つが日本付近にあり日本の冬季の気候に大きな影響を与える。しかし、その変動やメカニズムに関してはまだ良く解明されていないのが現状である。そこで、日本を含む東アジア地域の気候に多大な影響を与える EU パターンの近年における経年変動や季節変化の様子と、極渦の強化をはじめとした近年の北半球中高緯度の気候場、SST 等の気候要素との相互関係について明らかにすることにより、EU パターンのメカニズムを解明することを目的として解析を行った。

### 2. データ

使用したデータは、NMC 客観解析データで、1978 年から 94 年までの月平均、グリッド間隔は緯度経度ともに  $2.5^\circ$  である。

### 3. 結果

Wallace and Gutzler(1981) によって定義された EU パターンインデックスの冬季平均時系列を図 1 に示す。これより、1988/89 年を境にして、EU インデックスが正から負に移行したが、これは、パターンとしては  $(\ominus \text{ヨーロッパ}) \leftrightarrow (\oplus \text{ロシア中央}) \leftrightarrow (\oplus \text{日本})$  のパターンだったのが、それ以後はパターンの符号が逆転している。このことは最近の日本の暖冬化傾向を示している。さらに、極渦の強化をはじめとした 80 年代後半の北半球気候場の急変と密接に関連していることを示唆している。

次に、Plumb(1985) によって定義された定常波の活動度フラックスを用いてロスビー波の伝播特性を調べた(図 2)。その結果、EU インデックスが正のときは、北大西洋起源と思われる活動度フラックスがユーラシア大陸上を zonal 方向に伝播するのに対して、負のときは、北大西洋からの活動度フラックスはより南に向き、ヨーロッパから赤道へ南東方向に抜ける形となった。

このことから、パターンとして  $(\ominus \text{ヨーロッパ}) \leftrightarrow (\oplus \text{ロシア中央}) \leftrightarrow (\oplus \text{日本})$  のときはロスビー波の直接的伝播によるパターン、 $(\oplus \text{ヨーロッパ}) \leftrightarrow (\ominus \text{ロシア中央}) \leftrightarrow (\oplus \text{日本})$  のときは間接的に現れるパターンであると考えられる。

これらの結果から、定常波の活動度フラックスの強さと方向の違いが EU パターンの位相に影響することがわかるので、実際活動度フラックスの変動傾向を調べるために、EU パターンの領域において活動度フラックスに対して主成分分析を行った。各主成分のうち、EU インデックスと相関の高かった、第 1、第 2 主成分の結果を示す(図 3)。第 1 主成分の固有ベクトルパターンは、北大西洋からヨーロッパを通り南東方向へ抜ける形となり、一方ユーラシア大陸中央から東部にかけては西向きになっている。スコア時系列は 80 年代後半からほとんど正の値をとり続けていることから、近年の北半球中高緯度気候場の変化に対応した変動パターンであると考えられる。第 2 主成分はより南側からフラックスが南東方向へ抜けるようなパターンが現れている。ヨーロッパではあまり大きな変動は見られない。スコア時系列は EU インデックスの他に PNA インデックスとの相関が高いという特徴がある。

### 4. まとめ

解析結果から、EU パターンは 80 年代後半に位相が逆転したこと、定常波の伝播特性の違いが EU パターンの位相に影響を及ぼすことがわかった。また、主成分分析により、EU パターンに関連した 2 つの活動度フラックスの変動パターンを検出した。

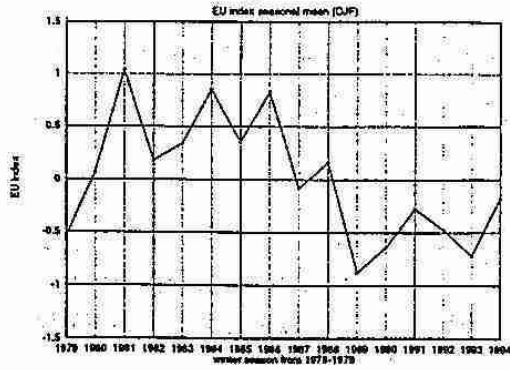
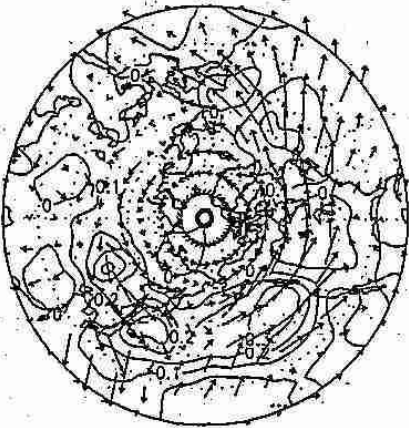
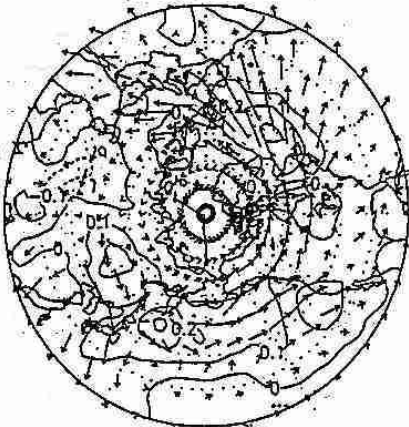


図1. EU インデックスの冬季平均 (12,1,2 月) の時系列.

EU+, 500hPa, DJFmean



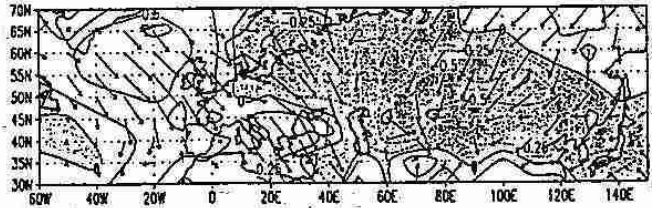
EU-, 500hPa, DJFmean



40

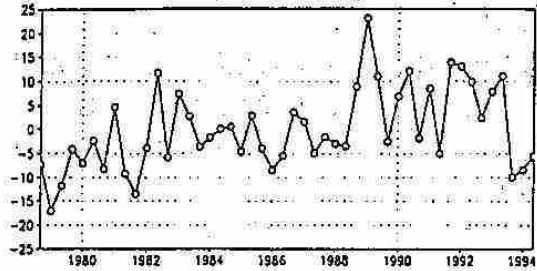
図2. 定常波の活動度フラックス (3 シーズン平均). EU インデックスが正のとき (上図), EU インデックスが負のとき (下図). 単位は  $m^2/s^2$ .

first mode (11.5%)

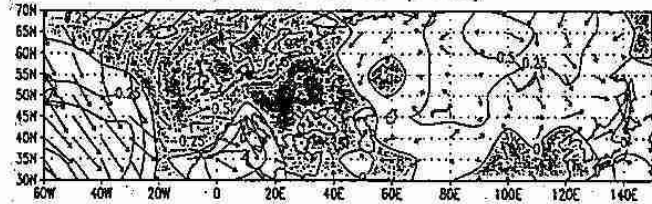


1

Score (first mode)  $s=8.3$



second mode (9.2%)



1

Score (second mode)  $s=7.4$

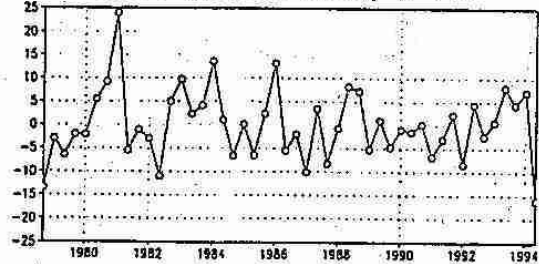


図3. 500hPa 面における活動度フラックスの各月の変動に対する主成分分析結果. (固有ベクトル)  $\times$  (スコアの標準偏差) の分布とそのスコア時系列 (12,1,2 月). 第1主成分 (上図), 第2主成分 (下図). 鉛直成分が負の領域は影で示す. 数字は寄与率, スコアの標準偏差を示している.



## 7. 成層圏—対流圏の残差平均子午面循環の季節変化と波数ごとの寄与

薛 東一・山崎 孝治 (北大院・地球環境)

## 1. はじめに

本研究では、子午面物質循環の実態を把握するときによく使われる TEM(transformed Eulerian-mean) 方程式系の残差平均子午面循環を用いて、季節ごとに 100hPa 面における質量フラックスを求め、その季節変化を調べる。それから、その季節変化に対する波数ごとの寄与についても調べる。

## 2. データと解析方法

用いたデータは、NMC の等圧面高度、風、温度場の客観解析値 (1988.12.1-1994.11.30、1 日 1 回 (1200GMT)、水平分解能  $2.5^\circ \times 5.0^\circ$ 、1000-0.4hPa の 18 層) である。

残差平均子午面循環 ( $\bar{v}^*$ ,  $\bar{w}^*$ ) は、TEM 方程式系の東西運動方程式

$$\bar{u}_t + \bar{v}^*[(a \cos \phi)^{-1}(\bar{u} \cos \phi)_\phi - f] + \bar{w}^* \bar{u}_z = (\rho_0 a \cos \phi)^{-1} \nabla \cdot \mathbf{F} + \bar{X} \quad (1)$$

と連続方程式

$$(a \cos \phi)^{-1}(\bar{v}^* \cos \phi)_\phi + \rho_0^{-1}(\rho_0 \bar{w}^*)_z = 0 \quad (2)$$

を連立させ 2 回の iteration 法で求めた。 $\bar{X}$  はサブグリッドスケールのエディーによる forcing であり、ここでは Shibata and Chiba (1990) の Rayleigh friction coefficient ( $\kappa$ ) を用いてパラメータ化した ( $\bar{X} = -\kappa \bar{u}$ )。残差循環に対する流線関数 ( $\bar{\psi}$ ) から、100hPa 面における turnaround latitude (残差循環の鉛直成分 ( $\bar{w}^*$ ) が上向きから下向きへ向きを直す緯度、すなわち  $|\bar{\psi}|$  が最大になる緯度) が分れば、その緯度から極までの正味の質量フラックスは、極で  $\bar{\psi} = 0$  という境界条件を用いて、

$$2\pi \int_{\phi}^{\text{pole}} \rho_0 a \cos \phi \bar{w}^* a \, d\phi = 2\pi a \bar{\psi}(\phi) \quad (3)$$

から求められる。熱帯域における正味の質量フラックスは、両半球の下向き質量フラックスの合計となる。波数 (wave number: WN) ごとの寄与に関しては、まず波数 1 から 10 までのそれぞれと  $\bar{X}$  に対する残差循環を、左辺第 1 項 ( $\bar{u}_t$ ) と第 4 項 ( $\bar{w}^* \bar{u}_z$ ) を落とした (1) と (2) を連立させ求め、それらの質量フラックスを比べた。

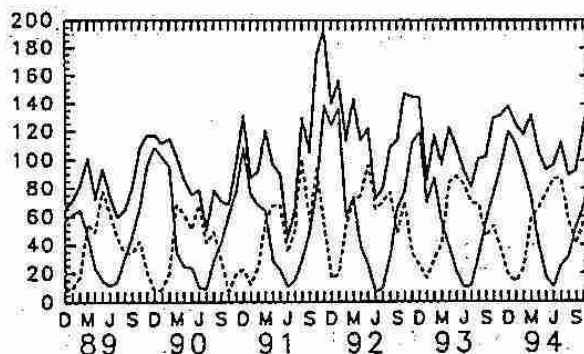
## 3. 結果

南半球と北半球の中・高緯度域の 100hPa 面における下向き質量フラックスはそれぞれ、大きい方から MAM-JJA-SON-DJF、DJF-SON-MAM-JJA の季節変化を示す (表 1)。しかし、南半球の MAM と JJA における下向き質量フラックスはほとんど差がない (表 1)。年平均の下向き質量フラックスは北半球の方が南半球の方より大きく、turnaround latitude はそれぞれの半球の秋と冬には低緯度域、春と夏には高緯度域に存在するのが分る (表 1)。熱帯域の 100hPa 面における上向き質量フラックスは、大きい方から SON-DJF-MAM-JJA の季節変化を示す (表 1)。年平均の上向き質量フラックスは  $104.3 \times 10^8 \text{ kg/s}$  であり、100hPa 面を通じた大気 turnover time (100hPa 面上の大気質量/年平均の上向き質量フラックス) は 1.6 年である。月平均の残差循環の流線関数から求めた質量フラックスの時系列を見ると、南半球と北半球の下向き質量フラックスはほぼ逆位相で季節変化するのが分る (図 1)。季節変化の振幅は北半球の方が南半球の方より大きく、それによって熱帯域の上向き質量フラックスは北半球の下向き質量フラックスの季節変化に従う傾向がある (図 1)。北半球の下向き質量フラックスはほぼ毎年、最大が 12 月、最小が 6 月に現れるが、南半球の下向き質量フラックスの変化は年によって異なる (図 1)。南半球と北半球の中・高緯度域の下降流に対する波数ごとの寄与を見ると、夏以外の季節は WN1、北半球の夏は WN2 の寄与が最も大きいのが分る (図 2)。特に SON の場合は WN1 の寄与が卓越し、南半球の夏、秋、冬の場合はシノプティックスケールの WN4-6 の寄与も大きい (図 2)。熱帯域の上昇流に対しては、JJA の場合は WN2、JJA 以外の季節は WN1 の寄与が最も大きいのが分る (図 2)。SON の場合は WN1 の寄与が顕著であり、MAM と JJA の場合においては WN4-6 の寄与も無視できない (図 2)。年平均した南半球、北半球の下降流と熱帯域の上昇流に対してはプラネタリースケールの WN1-3 の寄与が支配的であるが、南半球の下降流については WN4-6 も大きく寄与する。



表1: 100hPa 面における turnaround latitude と質量フラックス (6年間の平均、単位:  $10^8 \text{kg/s}$ )

|      | SHD        | NHD        | TRU   |
|------|------------|------------|-------|
| DJF  | 60S/19.2   | 17.5N/92.4 | 111.6 |
| MAM  | 17.5S/67.1 | 55N/36.9   | 104.0 |
| JJA  | 20S/63.9   | 55N/18.2   | 82.1  |
| SON  | 55S/44.6   | 22.5N/75.0 | 119.6 |
| Mean | 48.7       | 55.6       | 104.3 |



SHD: Southern Hemisphere Downward Mass Flux、NHD: Northern Hemisphere Downward Mass Flux、TRU: Tropical Upward Mass Flux

図1: 100hPa 面における下向き質量フラックス (南半球: 点線、北半球: 細実線) と熱帯域の上向き質量フラックス (太実線) の時間変化 (単位:  $10^8 \text{kg/s}$ )

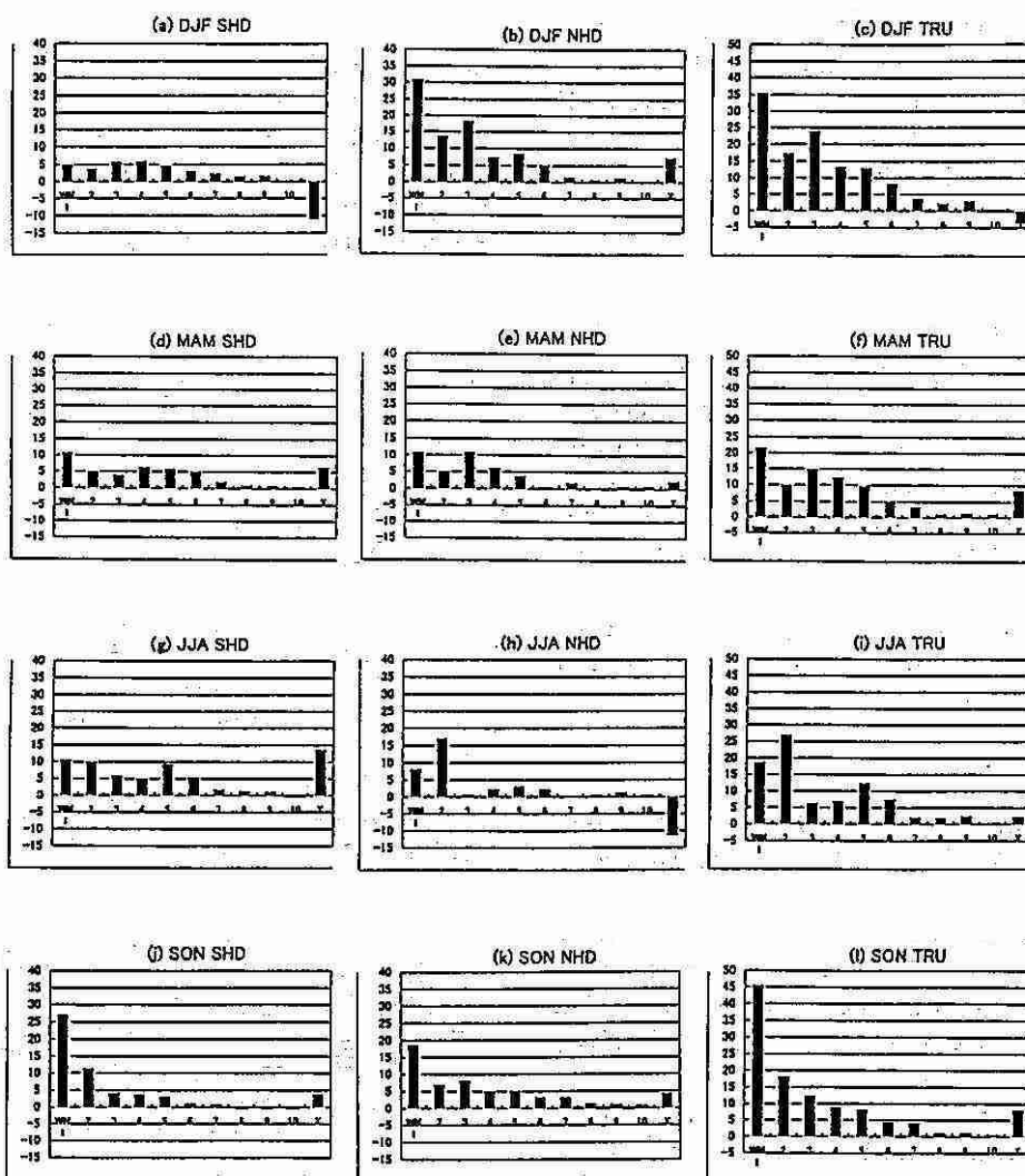


図2: 南・北半球の下降流と熱帯域の上昇流に対する波数ごとの寄与 (単位:  $10^8 \text{kg/s}$ )

## 8. 赤道成層圏界面付近に見られる温度擾乱の解析

\*林 寛生・塩谷 雅人(北大院・地球環境)

### 1. はじめに

Hitchman et al. (1987) は人工衛星 Nimbus7 に搭載された Limb Infrared Monitor of the Stratosphere (LIMS) が観測した温度データを用いた研究から、赤道下部中間圏に、それまで知られていた大規模な大気波動(たとえば、ケルビン波や中緯度から伝播してきたプラネタリー波)とは異なるタイプのプラネタリースケールの温度擾乱を発見した。その擾乱は、正と負の温度アノマリの極大が鉛直方向に交互に重なった形をし、また経度方向にほとんど位相が伝播しない(さらに、その構造が1-2週間持続する)といった特徴があった。その形態的な特徴から、彼らはその温度擾乱を「パンケーキ構造(Pancake Structures)」と呼んだ。彼らの解析により、このパンケーキ構造は、

- 北半球冬季
- 慣性不安定の領域内
- 中緯度プラネタリー波の活動性が大きいとき

に観測されることがわかった。しかし、彼らの解析した期間は南半球冬季を含まない北半球冬季を中心とする約7ヶ月間だけであった。そこで、人工衛星 UARS 搭載の Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer (CLAES) が観測した温度データを用いて、①このパンケーキ構造が南半球冬季にも観測される普遍的な現象なのか、②慣性不安定の理論に合うような構造が本当に見られるのか、③中緯度プラネタリー波と慣性不安定の領域は力学的にどのように結びついているかについて調べた。

### 2. データ

解析に用いたのは、CLAES の温度(帯状平均 + 帯状波数 1-6 成分)データである。観測期間は1992年1月9日 - 1993年5月5日の毎日、緯度は80°S - 80°N (4°間隔)、高度は100 hPa - 0.1 hPa (約2.7 km 間隔・19グリッド)である。CLAES は観測方法がLIMS 同様 Limb Sounding(大気を地球の周縁から観測する方法)であるため、鉛直分解能が非常に優れているという特徴がある。

一方、ポテンシャル渦度を計算するにあたっては UKMO Assimilation Data(4次元同化データ)を用いた。このデータは  $3.75^\circ(\text{lon}) \times 2.5^\circ(\text{lat})$  の水平分解能を持ち、鉛直方向には1000 hPa から 0.316 hPa

まで22層ある。データ同化の際、CLAES のような鉛直分解能の優れたデータは用いていないため、成層圏領域では鉛直方向に深い構造を見ていることになる。

### 3. 結果

まず、CLAES の温度データの中にパンケーキ構造を探したところ、南北両半球の冬季にそれぞれ2,3回ずつのパンケーキ構造を確認することができた。図1にそれぞれの一例を示す。どちらも1週間程度持続したパンケーキ構造のうち、振幅が最大と思われる日を選んだ。図1(a)では225°E付近に、図1(b)では270°E付近にパンケーキ構造が見られるが、これらの図からパンケーキ構造は成層圏界面を中心に鉛直方向に広がっていること、経度方向に見て非常に局所的であることがわかる。また、図1(b)の下部に見られるケルビン波の振幅(約2-3 K)と比較して、パンケーキ構造の振幅はずっと大きいこともわかる。

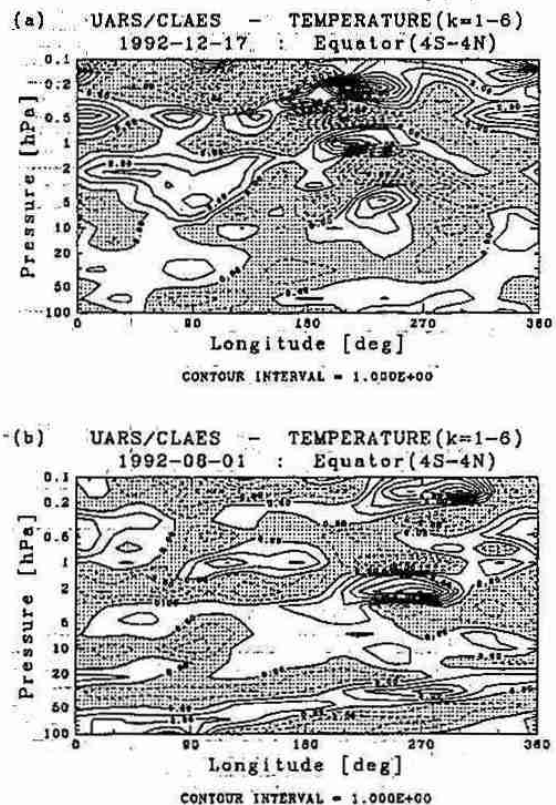
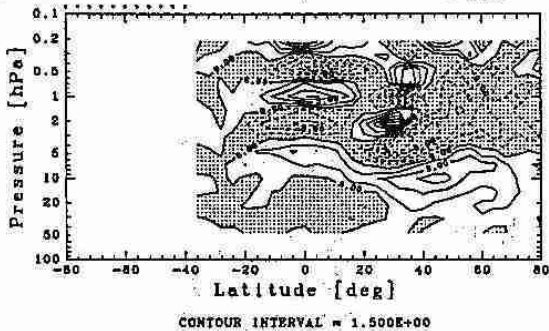


図1: 赤道上の温度アノマリ(波数1-6)の経度-高度断面図。(a)北半球冬季。(b)南半球冬季。

図2はパンケーキ構造を緯度と高度の断面で見  
た図である。この図は鉛直方向にハイパス・フィル  
ターをかけてプラネタリー波の影響を取り除いてあ  
る。図2(a),(b)ともに30°-40°の中緯度に赤道とは逆  
位相のパンケーキ構造が見られるが、これは Dunker  
ton(1981)によって理論的に予測された慣性不安定に  
よる構造と同じであり、このことはパンケーキ構造が  
慣性不安定によって作られた構造であることを裏付  
けていると考えられる。

一方、パンケーキ構造が見られている時のポテン  
シャル渦度場の様子を図3に示す。この図において  
中高緯度のコンター(濃いハッチの部分)に注目する  
と、プラネタリー波の breaking が起こっていること  
がわかる。この時低緯度では、北(南)半球で負(正)  
のポテンシャル渦度の領域(薄いハッチの部分)、つま  
り慣性不安定と考えられる領域が局所的に中高緯度  
へ大きく引き延ばされている様子が見られる。この局  
所的に引き延ばされていった慣性不安定の領域とパ  
ンケーキ構造は、その出現する経度帯および緯度方向  
の広がりがかたい合っていることがわかる。

(a) UARS/CLAES - TEMP(k=1-6) : -5 LEV RM  
1992-12-17 : LON = 225.0[deg]



(b) UARS/CLAES - TEMP(k=1-6) : -5 LEV RM  
1992-08-01 : LON = 270.0[deg]

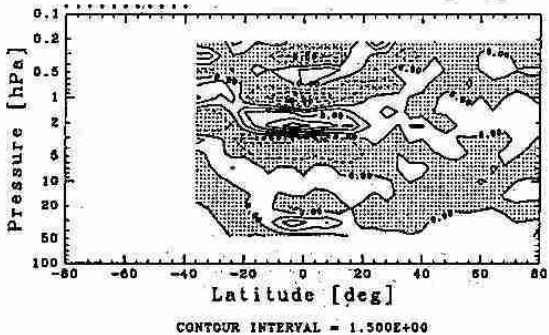


図2: 温度アノマリ(波数1-6)の緯度-高度断面図。(a)北  
半球冬季。経度は225°E。(b)南半球冬季。経度は270°E。  
いずれの経度帯もパンケーキ構造が現れている経度帯の中  
心付近である。また、高さ方向にハイパス・フィルター(高  
度5レベル(~10km)分の移動平均を引く)をかけてある。

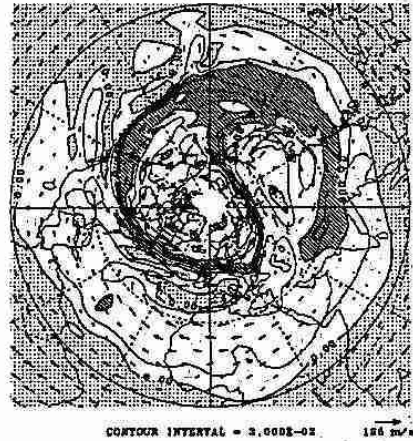
#### 4. まとめ

CLAESの温度データを用いて、南北両半球の冬季  
に成層圏界面付近で正と負の温度アノマリの大極大が鉛  
直方向に交互に重なる現象、つまりパンケーキ構造が  
現れることが確認され、この構造が慣性不安定によ  
って作られている可能性を示した。また、ポテンシャル  
渦度場の解析から、中高緯度でのプラネタリー波の  
breaking、慣性不安定の領域、およびパンケーキ構造  
が密接に関係していることがわかった。

#### 参考文献

Dunkerton, T. J., 1981, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 2354-2364  
Hitchman et al., 1987, *J. Atmos. Sci.*, **44**, 2219-2236

(a) UARS/UKMO - POTENTIAL VORTICITY  
17-DEC-1992 : 2000[K] / 0.650[hPa]



(b) UARS/UKMO - POTENTIAL VORTICITY  
1-AUG-1992 : 2000[K] / 1.205[hPa]

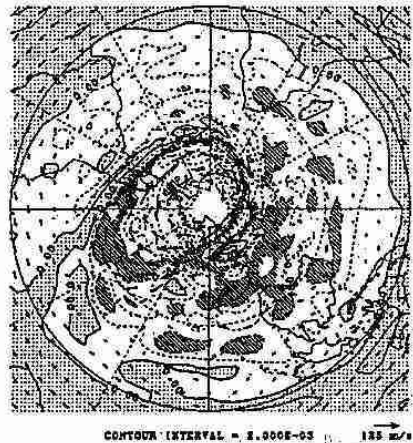


図3: 等温位面上のポテンシャル渦度の分布。(a)北半球  
冬季,  $\theta = 2000$ [K]。(b)南半球冬季,  $\theta = 1800$ [K]。色の濃  
いハッチをつけた部分はいずれも本来中高緯度に存在する  
領域、薄いハッチをつけた部分は、ポテンシャル渦度が(a)  
では負の領域、(b)では正の領域。

## 9. 太陽直達光と周辺光の分光観測による ADEOS/OCTS の地上支援

\*青木一真、遠藤辰雄（北大・低温研）、中島映至（東大・気候システム）

### 1. はじめに

エアロゾルが気候に及ぼす影響には、太陽放射を散乱・吸収することによって放射収支を変動させる直接的効果と、雲核として働く間接的效果がある。その中でも、気候変化に果たす直接的効果を定量的に評価する必要性が高まっている。最近では、ADEOS/OCTS のような衛星観測から、このような試みが行われるようになってきた。衛星観測でエアロゾルを評価することは、太陽放射の散乱・吸収過程を厳密に評価し大気補正を行うことが必要となってくる。しかし、エアロゾルは、地域や季節によって大きく変動するため、地上観測から大気補正を直接行うことが重要である。そのため、現在、各観測地点において太陽の直達光と周辺光の分光観測を地上から行い、エアロゾルの光学的特性について季節変化、および地域依存性について、ここに報告する。

### 2 観測および解析概要

太陽の直達光と周辺光を6波長（315, 400, 500, 870, 940, 1040nm）で自動観測できる Sky radiometer（ブリード社製）を使用した。観測は、新潟、筑波、沖縄の陸域と、カリフォルニア沖の海洋上で行った。太陽の直達光と周辺光を規格化した放射輝度によって、粒径分布を算出し、そこからエアロゾルの光学的厚さを求めた。

### 3 観測結果

図1は、新潟（上）と筑波（下）における500 nmのエアロゾルの光学的厚さ $\tau_{0.5}$ とオングストローム指数 $\alpha$ の関係を示した。

$$\tau_{a\lambda} = \tau_{0.5} \left( \frac{\lambda}{0.5} \right)^{-\alpha}$$

新潟では、光学的厚さを高める要因として、小粒子と大粒子の2つの効果が挙げられた。主に、7月～10月では、光学的厚さが大きくなるにつれて、オングストローム指数も大きくなる正の相関が見られ、1月～6月は、光学的厚さが大きくなるにつれて、オングストローム指数は小さくなる負の相関が見られることがわかった。風向別の影響は、顕著な傾向は見られなかったが、上記の中でも、特に春と秋では、季節の特徴が示された。春は、光学的厚さが大きく、オングストローム指数が小さい。秋には、光学的厚さが小さく、オングストローム指数が大きい傾向が示された。筑波では、光学的厚さを高める要因として、小粒子の影響

が多く、正の相関が見られた。北西の季節風が卓越する冬の筑波では、光学的厚さとオングストローム指数の値が小さい領域に集まることがわかった。このことから図2では、図1の中から夏（8月）と冬（12月）を取り出して、エアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の関係から、夏と冬の特徴が示すことができた。図3では、各々の月の風向別の光学的厚さとオングストローム指数を示した。光学的厚さは、夏に大きく、冬に小さいことは、図2より明確であるが、夏、冬どちらも南風のときは、都市からの汚染による小粒子の影響が、北風のときは、大粒子の影響が卓越していることが示された。以上により、2つの地域での季節変化と地域依存性について示すことができた。

つぎに、図4は、カリフォルニア沖海洋上における体積粒径分布の結果である。1.0  $\mu\text{m}$ 付近を中心としたモードが確認された。このときの500 nmのエアロゾルの光学的厚さは、0.04前後の値であった。今まで船

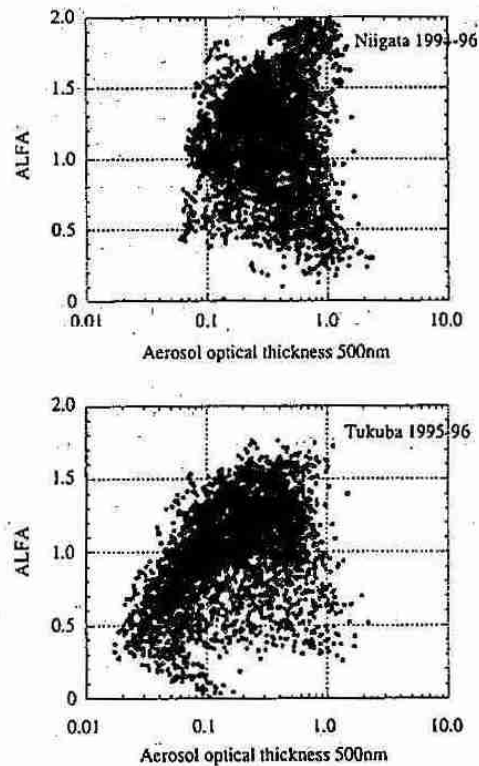


図1 500 nmのエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数 $\alpha$ の関係（上:新潟、下:筑波）



舶の動揺のために難しいとされてきた海洋上の観測を2台のトラッカーによる放射計のシステムによって、海洋上でのエアロゾルの変化を地上同様に示すことができ、これからの海洋観測で発揮されるであろう。海洋性と陸性のエアロゾルの違いについては、海洋上や陸域の海風するとき、 $1.0\ \mu\text{m}$ 付近を中心とした海塩粒子の影響が確認され、陸域との違いを体積粒径分布から示すことができた。

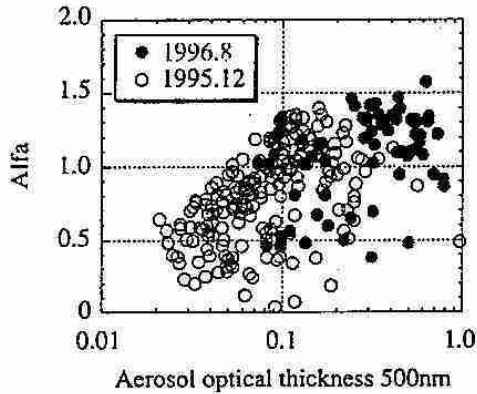


図2 筑波の夏(8月)と冬(12月)の500nmのエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数 $\alpha$ の関係

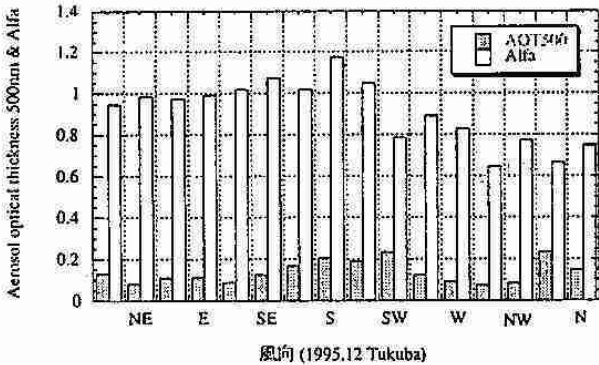
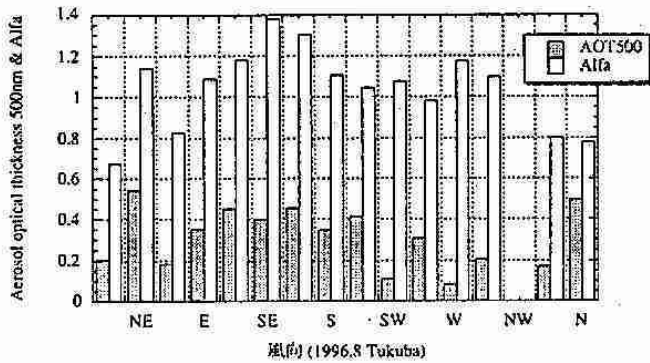


図3 筑波の夏(8月:上)と冬(12月:下)の風向別による500nmのエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数 $\alpha$

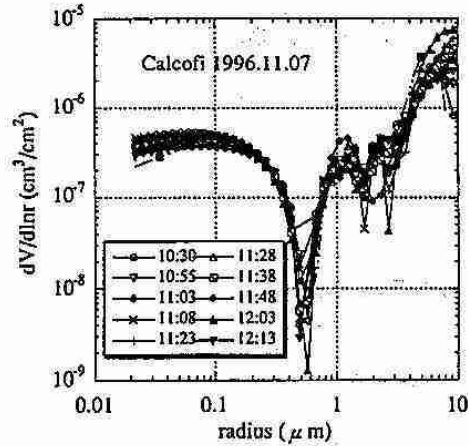


図4 カリフォルニア沖海洋上での体積粒径分布(1996年11月7日、33.734N、118.83W)

#### 4 今後の課題

衛星観測の地上支援として、また、気候問題に関連してもエアロゾルの光学的特性について、このような Sky radiometer を使った多地点での地上観測網で長期モニタリングすることが益々重要である。

#### 5 参考文献

Nakajima et al., 1996: Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions. *App.Opt.*, 35, 2672-2686

青木他、1996; 日本気象学会1996春季大会予稿集,185.

青木他、1997; 日本気象学会1997春季大会予稿集,255.

#### 6 謝辞

観測に協力して頂いた、水産庁日本海区水産研究所、気象研究所、国立環境研究所、沖縄県衛生環境研究所、UCSD/SIOの方々に御礼を申し上げます。



## —夏季大学雑感—

### 第15回夏季大学『新しい気象』講座 開催結果報告

(財)日本気象協会北海道本部 佐々木 浩

第15回夏季大学『新しい気象』講座が、下記の内容で開催されました。

今回は、4年連続で行ってきた「星・宇宙」に関する講義を一休みにし、阪神淡路大震災、気候、地球環境問題、1996年1月の札幌・小樽の大雪に関連した講義としました。

各講義では札幌や北海道に関連した身近な話もあり、勉強になったという感想が受講者のアンケートの回答に多くありました。例えば、地震の講義では、北海道大学構内の遺跡に液状化現象の痕跡がみられ、札幌でも過去大きな地震が発生していたことがわかっているという話が、また、酸性雨の講義では、北海道の場合、融雪初期の濃縮された酸性の高い融雪水の生態系への影響が懸念されるという話がありました。

受講者には、中高年の方、リピーターの方が目立ち、2日間ともほぼ講義室は満員でした。昨年、講義室が暑いという指摘があった札幌市青少年科学館は、リニューアルしたばかりで、講義室はクーラーも効き、快適でした。今回の反省点としては、札幌市青少年科学館のOHPのスクリーンが小さく、後方の受講者に見えにくかったことがあげられます。これには、よりシンプルな図表作りを講師の方にお願ひすることも必要と思われれます。

来年度の講座については、雲、火山、オゾン層、火星探査等のテーマや気象観測実習を入れて欲しいという要望があります。来年度もこれらの要望を考慮し、札幌市青少年科学館と協力して、より楽しく勉強していただける講座の開催を目指したいと思います。

最後になりましたが、今回の講座開催に当たりまして、会場の準備や接待役を快く引き受けていただいた札幌市青少年科学館の学芸課、札幌管区気象台の気候・調査課と業務課の皆さんに、この紙面を借りて厚くお礼申し上げます。

#### 記

### 第15回夏季大学『新しい気象』講座

主催：札幌市青少年科学館・日本気象学会北海道支部

日時：1997年7月30,31日 10時00分～15時00分

場所：札幌市青少年科学館（7月30日）、札幌管区気象台（7月31日）

講義：1 講目 「北海道に被害を与える地震」 (本谷 義信)

2 講目 「気候・季節・暦の話」 (竹谷 良一)

3 講目 「降水の酸性化(酸性雨)」 (野口 泉)

4 講目 「大雪発生メカニズム」 (藤吉 康志)

見学：札幌市青少年科学館、札幌管区気象台

受講者数：1日目；52人、2日目；47人

第15回夏季大学『新しい気象』講座



受講風景  
(札幌管区気象台)



受講風景  
(札幌管区気象台)



札幌管区気象台  
見学風景

# 1. 北海道に被害をあたえる地震

北海道大学理学部  
地震予知観測地域センター 本谷 義信

## 1. はじめに

地震といえば自分の所がどの程度揺れるかが問題ですから、まずは揺れの話から始めます。揺れが大きくなると被害が出て社会問題にもなりますから北海道に被害をあたえる地震の話へ進み、最後に地震予知の問題を考えることにします。

## 2. 地震による地面の揺れ

### (1) 震度

地震は地下深くの岩石が破壊して地震波を出す自然現象です。地震で地面が揺れることを地震動と言いますが、我々が日常生活で地震と言っているときは地震動の意味で使っている場合がほとんどです。ある場所での揺れの程度を、人体感覚、周囲の物体、構造物、自然界が受ける影響の大小などによって、いくつかの階級に分けて表示したものが震度です。

日本で初めて震度階級を定めたのは1884年です。この時の震度の階級分けは、微・弱・強・烈の4階級でした。その後、震度観測の基準となる「気象庁震度階級」が作られました。最初は震度0から6までの7階級でしたが、1948年に起きた福井地震では震度6を越える激しい揺れがありましたので、1949年に震度7が追加されました。しかし、その後震度7が実際に適用された地震はなかったのですが、1995年兵庫県南部地震で初めて震度7を記録したわけです。

日本では気象台の担当者が揺れを感じた時、この震度階級表に従って震度を判定して発表することになっています。これが地震の公式な震度の記録ということになりますが、皆さんも地震の時の

状況を震度階級表に当てはめて自分の所の震度を決めてみてはどうですか。

### (2) 震度とマグニチュード

ところで、震度は地震の大きさを表すものではないことに注意してください。地震は岩石の破壊現象ですから、破壊の規模の大小で地震の大きさを定義します。地震の大きさを表す単位をマグニチュードと言い、記号Mで書かれるのが普通です。地下で岩石が壊れた所から出た地震波はだんだん弱まりながら遠くへ伝わって行きます。静かな池に石を投げ込んで波紋がひろがって行く様子を思い浮かべてみてください。震度はある場所がどのくらい揺れるかですから、どんなにMの大きい地震でも地震の起きた場所から離れるにつれて震度は小さくなり、最後は震度0(人は揺れを感じない、無感)になってしまいます。したがって、場所の指定がない震度という言葉は意味をなしません。一つの地震には一つのMの値しかありませんが、震度は場所によって0から始まって7までの値をとることがあります。一つの地震で各地の震度の値がいくつも出てくることはテレビや新聞の地震情報でおなじみのことでしょう。ただし、人が揺れを感じない所はどこでも震度0ですから、震度0の地名が発表されることはありません。

### (3) 科学的にも役に立つ震度

震度は人が決めるものですから、ある程度のあいまいさを避けることは出来ません。しかし、震度は日常の地震情報としてだけではなく、科学的にも役に立つものです。

#### a 地震史料

地震を地震計で観測出来るようになったのは、

たかだか100年前のことですから、それ以前の地震のことは古い記録に書き残されている地震の時の被害の様子などから推測するしかありません。

古文書には震度いくつなどとは書いてありませんが、どこでどの程度の大きさの地震があったかをかなり詳しく知ることが出来ます。

1927年11月29日19時02分 石狩川河口付近  
N43°12' E 141°24' H極浅 M4.8 SMO

- 3. 札幌・札幌村・篠路・生振・広島・長沼・下手稲・琴似・茨戸
- 2. 豊平・篠津・江別・花畔・千歳
- 1. 小樽・旭川・岩見沢・石狩・当別・厚田・幌内・由仁・新篠津  
恵庭・銭函・塩谷・美幌・浜益・大江

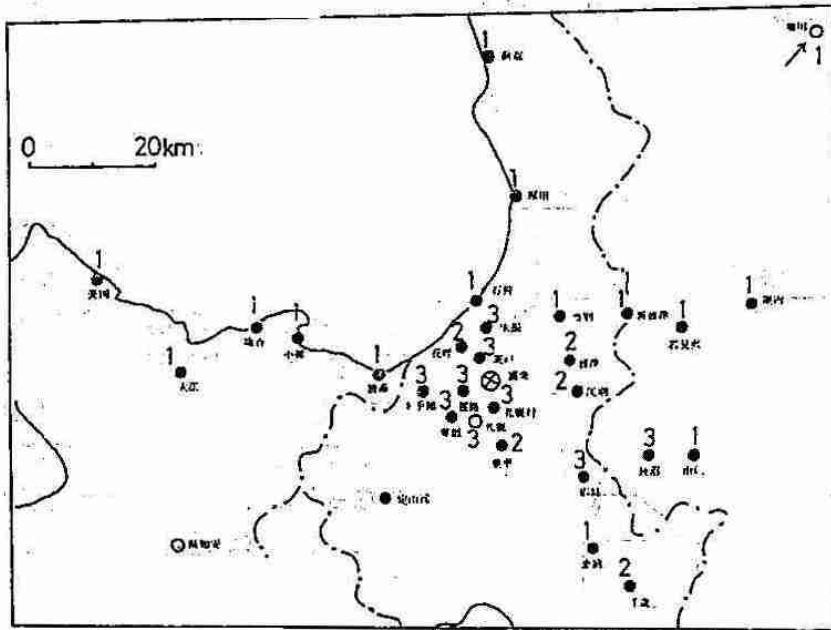


図1. 震度分布から地震が起きた場所がわかる。震央(⊗)の直下で5×2kmの断層面が5cm動いてこの地震を起こしたと推定される(札幌管区気象台の資料)。

b 地震の起きた場所を決める

日本の地震観測は気象庁が行っていますが、1960年代までは地震計の数が少なく性能もあまり良くなかったので、地震計による観測で地震の起きている場所を精度良く決めることはむずかしかったのです。とくに、北海道は広いので局地的に人が感じる地震があってもどこの地震計にも記録されないこともあったのです。そこで札幌管区気象台では、各地の人に依頼して地震の揺れを感じたらその報告をしてもらう体制を作りました。この民間委託の震度観測点是最盛期には道内で300地点を越えました。これだけの観測点がある

と、小さな地震でも多くの地点からの報告が集まり、その震度分布から地震の起きた場所をかなり良く決めることが出来ます。図1にその例を示します。この震度観測の結果は北海道の内陸に起きた小さな地震を調べるための貴重な資料になっています。

(4) 震度を器械で測る

じつは、ここまで述べてきた震度を決める話は古くなってしまいました。1996年から震度を器械で測ることになったのです。これは震度観測にとっては革命的ともいえる大変化です。

気象庁震度階級の定義では、震度5までは担当



者がその場で震度を決めることができますが、震度6以上では家屋が倒壊した割合を調べてからでないと震度を決められないようになっています。先頃の阪神淡路大震災の時に気象庁で調査が終わってから震度7の所があったことを発表したのはこのためです。しかし、大地震の時に震度がすぐわからないのはいかにも困ったことです。被害にむすびついている震度の情報が即座に入手できれば、救援活動に大変役に立つはずですが、人が震度を判定することはやめて器械にやらせれば大震災で混乱している時でも震度の情報が得られるはずですが。

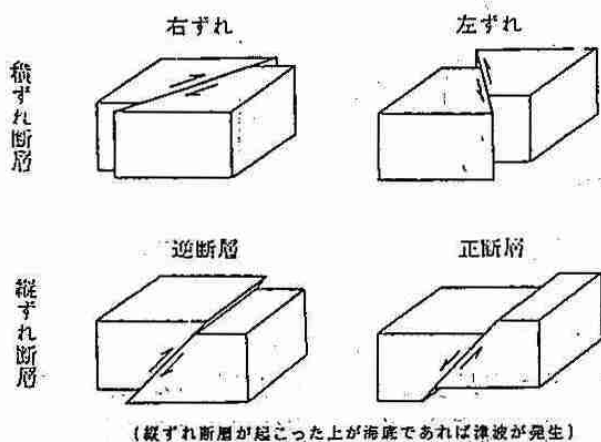
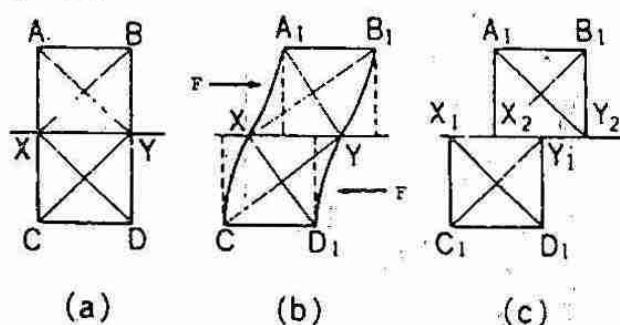


図2 地震は地下の断層(ずれ)運動。ある面XYを境にして反対向きの力Fが働き続けると岩石は歪んでゆき、ついに耐えきれなくなるとXY面に沿って急激にずれて歪みが解放され変位 $X_1X_2$ が生じる。これが断層運動でこの時に地震波を出す。

ところで、地震の時に揺れを感じるのは当り前のようですが、人間の揺れの感覚はどのようにして生じるのでしょうか。物理的には地震動から受ける力、すなわち加速度を感じていることは確か

です。しかし、加速度の大小だけではなく、地震動の周期、強い地震動が継続する時間の長さなども人間の感覚に影響をあたえます。また、身の回りの物が振動する音を聞いたり、倒れるのを見たりすることも揺れる感じを増幅させると考えられます。このように複雑な感覚に依存する震度を器械で測ることが出来るのでしょうか。とにかく、これまでの震度となるべく同じ値が得られるように試行錯誤し、いろいろと工夫をして、器械を使うことにしたのです。この器械はある種の地震計ですが、計測震度計と言います。そして計測震度計で得られた値を計測震度とするのです。普通は計測を省略してたんに震度と言っています。このことによって人が震度を決めるあいまいさをなくするとともに、情報化時代の要請に応える震度情報を迅速に提供出来ることになりました。

これまでは気象庁の担当者が震度を決めていましたから、震度を発表出来る地点は担当者の居る所、すなわち測候所など気象官署のある所に限られていたのですが、これからは計測震度計さえ配備しておけばどこからでも震度情報を出せることになったのです。最近の地震情報にこれまで見かけたことのない地名がたくさん並んでいるのに気がついた人もあるかと思います。

もう一つ変更したこと、震度5と震度6の取り扱いがあります。震度5以上の揺れから被害が始めます。これまで震度5と震度6にされていた揺れの程度には幅があり過ぎて、同じ震度でも被害などに大きな差があることがわかってきました。そこで、震度5と震度6をそれぞれ2つに分けて、震度5弱、震度5強、震度6弱、震度6強とすることになりました。この結果、これまでの震度の8階級が10階級になったこととなります。きめ細かい震度情報を救援活動に有効に利用することがそのねらいです。

### 3. 北海道に被害をあたえる地震

#### (1) 地震は地下の断層運動

地下深くの岩石に力が働いて歪みが増加し、歪みが限界に達すると岩石が破壊して歪みエネルギー

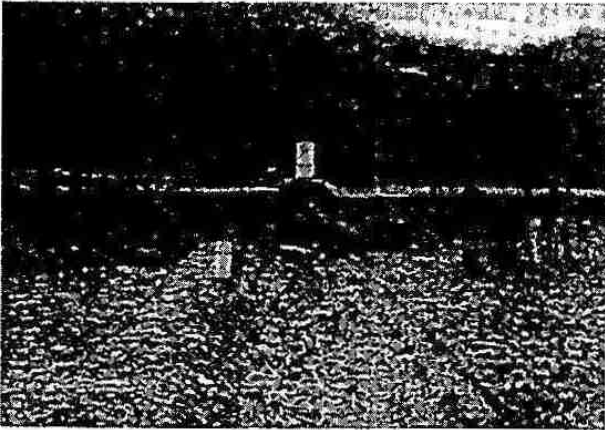


図3 1995年兵庫県南部地震を起こした地震断層が地表へ現れた。淡路島北淡町平林地区の写真であぜのずれが見られる。右横ずれ断層であるが、上下方向にも変位していることがわかる。

ギーを急激に解放する現象が地震です。破壊すると言ってもバラバラに壊れるのではなく、図2に示すように、ある面に沿ってずれを生じます。このようなずれを断層といい、力の加わり方でいろいろな断層が生じます。地震は地下深くで起きますから、地表に断層が現れることは稀ですが、阪

神淡路大震災をひき起こした1995年兵庫県南部地震では淡路島に断層が顔を出し、「地震の正体見つけたり」ということになったわけです(図3)。

(2) プレート運動と地震

ところで、岩石にはどうして力が働くのでしょうか。力の根源はプレート運動にあると考えられています。図4にプレート運動の概念を示します。地球の表面は何枚かの厚さ数10~100kmの巨大な板状(プレート)の破片に分割されていて、各プレートは動いていて、プレートの境界では押し合いへし合いして力を及ぼし合っているのです。

図5に北海道とその周辺のプレート境界を示します。プレート境界に沿って楕円が並んでいますが、各々が地震=断層運動の時に動いた広がりを表しています。マグニチュード8の大地震では50×200km程度の広い領域で数mのずれが生じます。したがって、歪みエネルギーを解放した領域として、大地震をこのように表現するのは的を得たことなのです。太平洋と日本海のプレート境界から力が伝わってきて、北海道の内陸部でも地震が発生します。

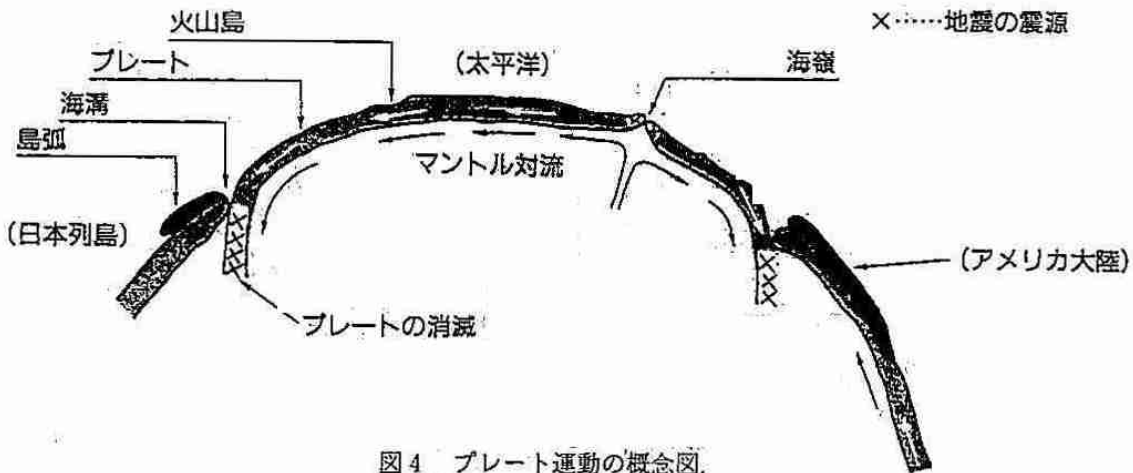


図4 プレート運動の概念図。

(3) 北海道に被害をあたえる地震

a 太平洋のプレート境界の地震

北海道の太平洋沖合いではこれまで何回も大地震が発生し地震動と津波で被害を受けてきました。大きな地震が起きると各地でどのくらい揺れたかを調査するのが普通です。図6は1968年十勝沖地

震の時の札幌の震度分布です。札幌はおおむね震度4ですが、3から5にわたっていることがわかります。地震の起きた場所からほぼ同じ距離でも揺れの程度に大きな差があり、札幌市内でも震度にすると2程度の違いがあることがあります。この原因は主として地下の浅い所の地下構造の違い

にあります。やわらかい堆積層が厚い所では堅い岩盤の所より揺れが大きくなるのが普通です。これからも同じような大地震は起きるでしょうが、どこでどの程度揺れるかはわかっているといえま

すから、防災計画も立てやすいはずです。津波がある場合には気象庁から津波警報が出されて、津波が海岸に到達するまでに避難をする時間の余裕があると考えてよいでしょう。

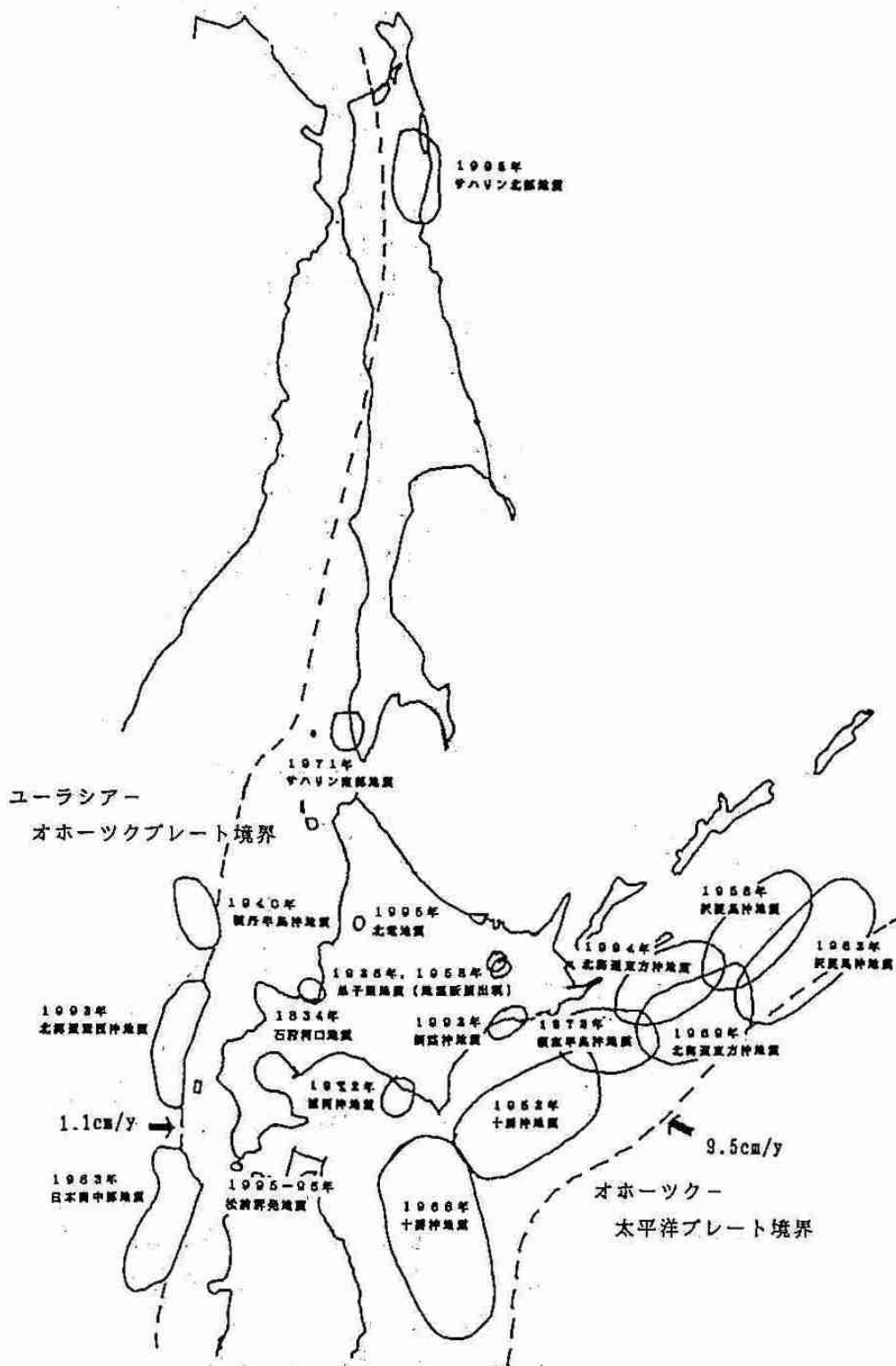
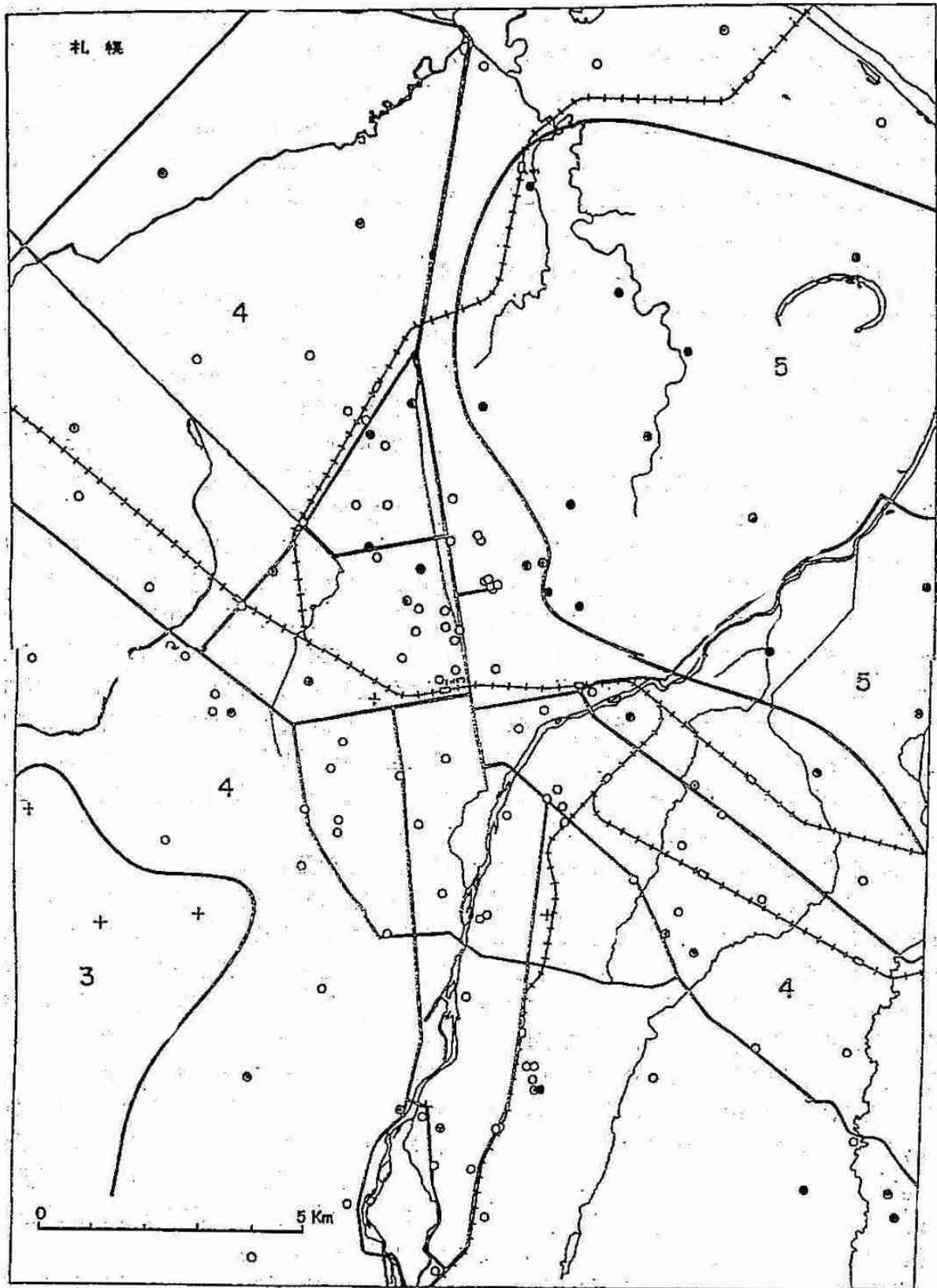


図5 北海道・北方圏のプレート境界と主な地震。



【6】震度分布図(札幌市南部)

図6 1968年十勝地震(M7.9)による札幌市の詳細震度分布. 地震が起きた場所から札幌までの距離は320km (北海道大学理学部地球物理学教室の調査資料).



## b 日本海東縁の地震

日本海には大地震は少ないのですが、1993年に奥尻島付近で大地震が発生して多数の人命が奪われ大きな被害を出したのは大変不幸なことでした。ここでのプレート境界は太平洋プレートの境界よりも陸地に近い所にあるばかりでなく、近くに人が定住している島があることに注意する必要があります。1993年の地震では地震が起きてから数分後には大津波が奥尻島を襲っています。これからも津波警報が間に合わないことがあると覚悟して、大きく揺れたらまず避難して様子を見るようにしてほしいと思います。

## c 北海道内陸の地震

1995年5月23日に北空知の北竜町でM5.7の地震があって小被害が出たことを記憶しておられる方もあるかと思いますが、このように、北海道内陸部でも1つの町村くらいの広がりでは被害の出る地震は時々発生しています。これまでのところ規模の小さい地震ばかりですが、大地震が起きないというわけではありません。

このタイプの大地震としては1834年の石狩河口付近の地震(M6.5)が知られています。まだ人がほとんどいない頃ですから被害らしい被害もなく済みましたが、北海道大学の農場を掘ると液状化・噴砂の跡が出てきますから激しく揺れたことは間違いありません。この地震がいま起きたら札幌圏はどうなるのでしょうか。神戸の地震でどのようなことになるか、ある程度想像がつく部分もあるかと思いますが、本当には経験のないことです。神戸の震災から教訓を得ると同時に、都市環境、自然環境を考慮した防災対策にとりくむことが必要です。とくに、北海道では冬の厳寒積雪期に大地震が起きる場合のことを考えておかななくてはけません。

## d 群発地震

内陸ではまた、1日に何回も地震を感じる日が続くことがあります。たいへん局地的な現象で、一瞬の急激な振動で終わったり、音がすることもありますから、何が起きているのかわからず、不安が高まって騒ぎになることもあります。しかし、

群発地震で大きな災害になることはまずありません。最近では1995年10月から始めて半年以上も続いた松前沖の群発地震がこの例です。幸いもう終わりましたが、桜の時期に重なってれば観光客の入り込みが減ることで被害を受けることになったかもしれません。

## 4. 地震予知について

地震の本質は破壊現象ですからその予知は不可能だと言う人もいます。棒の両端に力を加えてたわませていった時、いつ棒がどの位置で折れるかをあらかじめ知ることが出来るでしょうか。しかし、たわみが次第に大きくなってくると、そろそろここで折れそうだとか、かなり確実に予想がつくことも確かです。この意味では実用上役に立つ予知も充分あり得ると考えています。そもそも相当広い領域(体積)に突然歪みエネルギーがたまるとは考えられず、必ず歪みの蓄積過程があるはずで、この歪みの蓄積過程を反映した現象を観測しようと努力を続けていますが、まだ成功していません。とはいえ、これまでの観測、研究で地震の発生する場所と大きさについては、ある程度わかるようになってきました。問題はいつ起きるかです。

## (1) 大地震の発生履歴

自分の住んでいる所でこれまでにどのような地震が起きてきたかを知っておくことは大切なことです。北海道大学構内を掘って行われた遺跡調査で、過去2千数百年間に3回の大規模古地震が発生したことがわかりました。最新の地震が1834年の石狩地震で、他の2つの地震は2000年よりやや古い時代と10世紀以降(今から約900年から208年前の間)に起きました。どこで起きた地震かわかっているのは石狩地震だけですが、札幌周辺を大きく揺らす大地震が3回あったことは確実です。

## (2) 内陸の地震の予測

一度ずれて地震を発生させた断層面は長い時間の間には固着してしまいます。しかし、力が働いて歪みが蓄積されると、新しい所に断層ができるよりは、いわば古傷である一度ずれた断層が再び

ずれる場合が多いのです。これが活断層といわれるもので、同じ断層から繰り返し地震が発生することになります。

もし大地震が等間隔で発生すると仮定できるなら、札幌周辺は1834年石狩地震以降約1000年間、すなわち今後8百数十年は大地震にみわかれることはない予測できることになります。しかし、札幌市に液状化跡を残した古地震が同一の活断層から発生したのかどうかもわからない現状では、この予測は現実的なものとは言えません。

場所の予測のためには、大地震発生の候補地になる可能性のある活断層がどこにあるかを調べる必要があります。活断層を掘削して、その断層がいつどの程度の規模で動いたかがわかれば、次ぎの地震の規模と発生時期の予測をすることが出来ます。しかし、この発生時期の予測は100年単位より良くなることはないでしょう。明らかに人の一生よりは長いので、こんな予測をどう考えるか

はその人の自然観、人生観にかかっているといえます。

(3) プレート境界の大地震の予測

太平洋側のプレート境界の地震については、ある程度の予測が可能になってきました。太平洋プレートは年に約10cmずつオホーツクプレートの下に潜り込んでいますから100年で10m潜り込むことになります。大地震の時に数mずれて、それまでに蓄積されていた歪みを解放しますから、50~100年毎に同じ場所で大地震が発生する見当になります。しかし、1つ大地震が起きるとそのまわりの領域が刺激されて、地震が発生しやすくなり、プレート境界全体ではもっと短い時間間隔で大地震が連続することがあります。1952年十勝沖地震に続く20年間はこのような地震活動期であったと考えられています。図7に示すように、この活動期の最後の1973年根室半島沖地震の発生は予測されていたといえます。

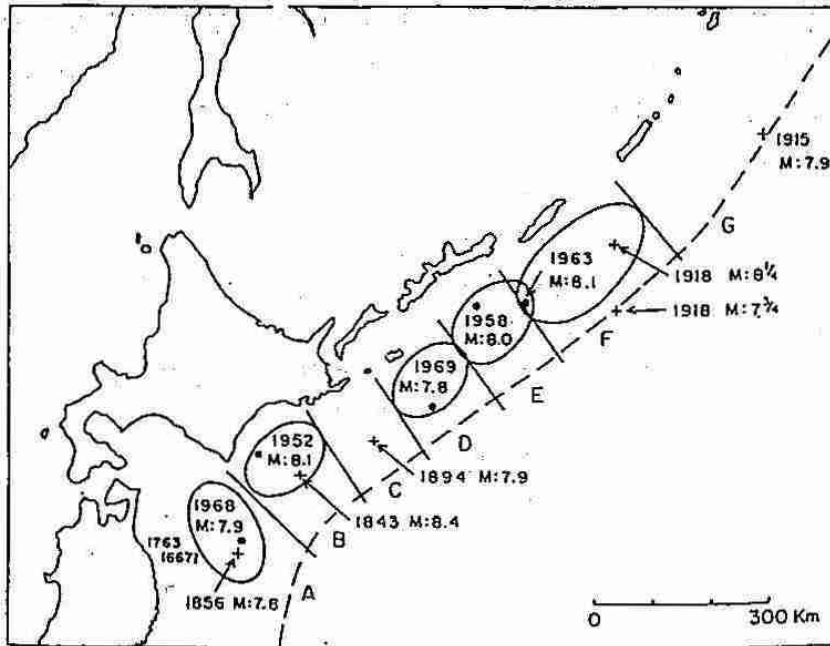


図7 北海道周辺のM8級の大地震の震源域(楕円)とその震央(黒丸)。震源域は地震断層面の大きさに相当し、震央は断層がずれ始めた(=地震が起こり始めた)場所の真上の点である。この図は宇津徳治が1972年に作成したもので、1973年根室半島沖地震を予測したものとして有名なものである。

日本海東縁のプレート運動の相対速度は年に約1cmです。太平洋のプレート境界より活動度は低いので、大地震の繰り返し間隔も長く500年程度

と考えられています。1993年の奥尻の地震がこんなに早く起こるとは予想していませんでした。しかし、10年前の1983年に秋田県沖で大地震があっ

たのですから、その隣の領域は警戒しておくべきであったのです。

(4) 直前予知

大きな地震の前に小さな地震が発生することがあり、これを前震と言います。神戸の地震には12時間前から前震がありました。事前にはどこにもこのことは知らされませんでした。現在のところ、いくつかの地震が起きた時それらが大地震の前震かどうかを判定する確実な手法はないので、やむを得ないことであると思いますが残念なことです。図8に示すように、1982年浦河沖地震の前震と神戸の前震はとてもよく似ていたのです。

前震は直前予知にたいへん有効ですが、残念なことに前震が観測される場合は大地震全体の数%に過ぎません。しかし、数%でも可能性のあるものは追求すべきです。

5. おわりに

地震予知が出来たとしても壊れるものは壊れるから役に立たないという人もいますが、とくに直前予知が出来れば人的被害を大幅に少なくできるはず。確実に予知出来るまで何も言わないのではなく、役にたちそうな情報は提供すべきです。しかし、情報が誤解されてデマが広がり社会不安を起こしては困ります。そうならないためにも地震のことを正しく知って、情報の扱いになれた社会を目指したいものです。これはいずれは越えなくてはならないハードルです。このことが地震学界と社会の信頼関係を強め、将来の防災に大きく貢献することになるに違いありません。

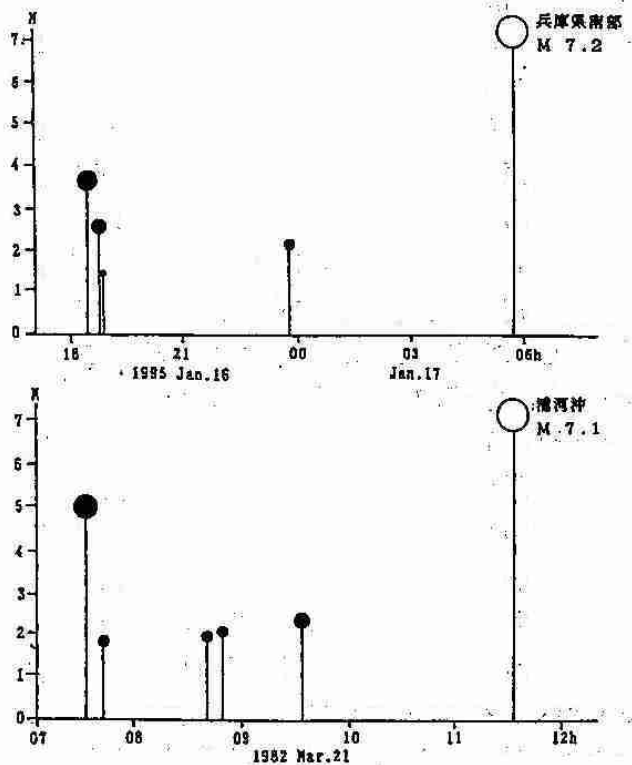


図8 1995年兵庫県南部地震と1982年浦河沖地震の前震はよく似ていた。最初の前震から大地震までの時間で規格化して並べてある。

参考文献

震度階級が変わります、1996、気象庁パンフレット  
改訂版気象ハンドブック、1996、NHK放送文化研究所。

## 2. 気候・季節・暦の話

札幌管区気象台 気候・調査課 竹谷良一

### 1. はじめに

私たちの日常生活は、「今日は暑いですね。」とか、「また降りそうですね。」などの会話で始まるように、日々の気象と深い関わりをもっているが、もっと大きな目でみると、このような日々の天気を構成している気温や降雨など、個々の気象要素の総合状態、すなわち「気候」に順応した生活をしていると言える。一方、これまでは「気候」は数十年程度のスケールでは変わらないものとして平年値を作成し、年々の変動を議論してきた。しかし、最近地球の温暖化に関連して気候変動の原因究明の研究が進み、これまでに10数年スケール程度で気候が変動している事実も解ってきたことで、「気候」も変わるものだという認識が高まってきている。昨今は、「気候」と言えば気候変動、と言われるほどに学問の研究やそれを伝える世論の動向が活発である。そこで、この小講座では、将来的な気候変動問題についての理解を深める前の基礎知識として、これまでの知見を集めた「気候」の一般的な概念等について解説する。

### 2. 気候の話

#### 1) 気候の概念

気候は地球上のある地点、またはある地域で一年を周期として毎年きまった順序でくり返される、最も出現率の大きい気象（気温、湿度、日照、降雨、風など）の平均状態であると言う（ある地点や地域の、気温・降水量・湿度・日照時間・雲量などを総合した大気の状態を「気象」と言う。期間によって、ある時刻または2～3日程度の期間の大気の状態を「天気」、数日から3か月間程度の期間の大気の状態を「天候」と言って区別す

る場合がある。）。従って、人々が気候を認識するのに、次の二通りが考えられる。

一つは、旅行や転勤などで、長い間住み慣れた土地を離れて、他の土地に行ったときに感じる気候の相違であり、この場合の気候は場所（空間的）に結びついた概念であり、広義の意味においては「風土」と一致する。

もう一つは、自分の住んでいる土地に毎年きまってくり返される四季の変化（春の芽吹き・開花、夏草の繁茂、秋の落葉、冬景色の荒涼など）の中に、気候を認識する場合である。この場合の気候は時間と結び付いた概念であり、いわゆる「季節」と同じ意味になる。

季節変化に富む日本では、生活と文化の中に「季節」が深く、あるいは微妙に影響しており、多くの人々は日常の生活の中で、「季節」の方により身近さを感じている。日本人は季節を先取りする民族である、と言われる所似でもあろう。

#### 2) 気候の語源

気候（Climate）は、ギリシア語のKlima（傾く）に由来し、太陽の地面に対する傾きを意味したが、緯度帯（気候帯）をKlimataと呼ぶようになり、17世紀頃から次第に今日の気候の概念が生まれてきたと言われる。

#### 3) 気候の表現

大気の総合状態を表すには、静気候学的方法と動気候学的方法があり、前者は気候を具体的に観測できる気温・降水量・風向・風速・日照などの気候要素の長年の平均値を組み合わせて表す。平均値は世界気象機関（WMO）の取り決めによる平年値（30年間の平均値）を用いる。この方法だ



と、観測値が集積すれば単純な統計作業で気候値が得られ、地点相互間の気候の比較が容易なので、気候表や気候図の多くはこれで作られている（クリマグラフや各種気候図類がある。）。後者は気候を毎日の大気の状態である天気の数重ねとして捉えようとするもので、たとえば毎日の天気図を資料として、天気図別の天気日数の出現頻度をとるような統計が用いられる。

#### 4) 気候のスケール

気候は対象とする地域の大小や気候現象の空間スケールの大小に応じて、大気候、中気候、小気候、微気候に分けられる。大気候の特徴を決定する気候因子としては、緯度、大地形、水陸分布などがあるのに対し、小気候では植生、土地利用などの土地被覆形態や小地形が大きな影響を与える。

#### 5) 気候分布

気候は地域差が大きく人々の生活に大きな影響をもつ。気候の地域差が生じる原因を気候因子と呼ぶが、大気候に対しては、緯度・海陸分布・海拔高度・大陸と海洋の相対位置・海流などが挙げられ、中気候や小気候に対しては、海拔高度・水陸分布・地上被覆・局地的地形などが挙げられる。気候分布の影響をとくに強く受けるのは植生分布で、地球上の気候が高温から低温へ、湿潤から乾燥へと変化するのに対応して著しく変化する。したがって、農業もまた気候分布とは密接な関係をもつ。このような地球上の異なった地域の気候を比較するためには、気候分類ないし気候区分が必要となる。

#### 6) 気候変化

気候変動は異常気象を伴うことが多い。長期的には気候は決して一定不変ではなく、過去においては何度となく気候変化が起こってきた。とくに近年は、地球温暖化と関連して気候変動が益々注目されてきていることは周知のとおりである。

#### 7) 気候資料

世界各地の気候を知るための気候資料としてはアメリカ気象局発行のWorld Weather Recordや、世界気象機関発行のclino、気象庁発行の外国気候表などがある。気象庁からは日本気候表が

発行されている（印刷物やCD-ROM）が、一般には理科年表で事足りる。

#### 8) 気候の分類

気候を把握し、表現し、分類するには、基準が必要である。

##### ア) 気候の成因による方法

気候をその成因にまで遡って検討し、例えば、高・低気圧、前線など出現頻度などに注目して分類を行う方法である。成因的または演繹的分類法ともいう。

##### イ) 気候指数または気候要素の特性や階級による方法

幾つかの気候要素の月・年の平均値の組み合わせを指数化したり、気候要素を階級区分して、その階級によって区分する方法である。経験的または帰納的分類法ともいう。

##### ウ) 植生による方法

気候分布を端的に表現しているものは植生分布である。気候特性のある指標として植生をとらえ、植生状態によって気候を区分する考え方である。この方法の優れた点は、気候要素の観測地の不均一性がないということである。

##### エ) 自然現象による方法

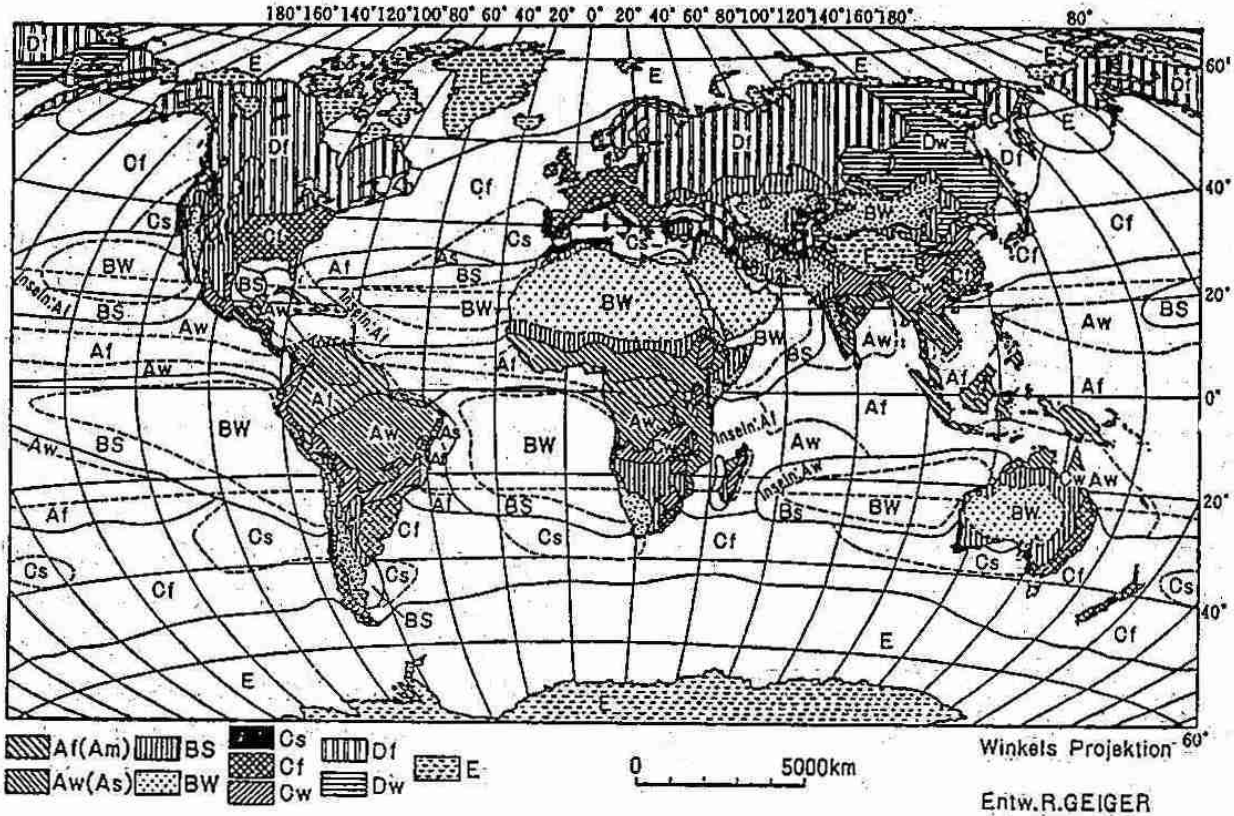
植生以外の自然特性、例えば河川の状態などを指標とする方法であり、これも一種の経験的方法である。

#### 9) 気候区分

ここでは、国内外における代表的な気候区分の幾つかを紹介する。

##### ア) ケッペンの気候分類

世界の植生分布に合うように行った気候分類である。樹木気候を温暖な気候から寒冷な気候の順にA : C : D : とし、無樹木気候で降水が少ない気候をB : 寒冷気候をE : として区分する。次に、f : 1年中、降雨があって著しい乾季がない。w : 夏に雨季、冬に乾燥した季節となる。s : 冬に雨季、夏に乾燥した季節となる。以上のような組み合わせによって11区分されたものが第1図である。



第1図 ケッペンの気候区分 (Geiger, R. und W. Pohl, 1954より)

表. ケッペンの気候区分

| 気候区名    | 記号 | 区分の基準  | 細区分基準  |
|---------|----|--|--|
| 樹木気候    | A  | 最寒月平均気温18°C以上  | w': 地点所属半球の秋に最多雨月がある<br>w'': 雨量の極大・極小が年2回<br>s: 太陽高度の高い季節に乾期<br>i: 気温の年交差が5°C未満<br>g: 最暖月が夏至以前にあられる                              |
| 熱帯気候    |    | Af   |  |
| 熱帯雨林気候  |    | Am   |  |
| 熱帯季節風気候 |    | Aw   |  |
| 熱帯サバナ気候 | Aw | 最少雨月雨量(y) 60mm未満で、かつ年降水量(x)に<br>対し $y > 100 - x/25$                          |  |
| 温帯気候    | C  | 最寒月平均気温-3°C以上18°C未満  | a: 最暖月平均気温 22°C以上<br>b: 最暖月平均気温 22°C未満で、かつ<br>平均気温10°C以上の月が4ヵ月以上<br>c: 平均気温10°C以上の月が4ヵ月未満<br>i, g: [A気候と共通]                      |
| 温帯多雨気候  |    | Cf   |  |
| 温帯夏雨気候  |    | Cw   |  |
| 温帯冬雨気候  | Cs | 夏の最多雨月雨量が冬の最少雨月雨量の10倍以上<br>冬の最多雨月雨量が夏の最少雨月雨量の3倍以上で、<br>かつ夏の最少雨月雨量が30mm未満     |  |
| 冷帯気候    | D  | 最寒月平均気温-3°C未満、最暖月平均気温10°C以上  | t': 最暖月が秋にあられる<br>x: 最大雨月が晩春か初夏、夏に少雨<br>s': 最多雨月が秋<br>d: 最寒月平均気温 -38°C未満<br>f, s, w, a, b, c: [C気候と共通]                           |
| 冷帯冬雨気候  |    | Df   |  |
| 冷帯夏雨気候  |    | Dw   |  |
| 無樹木気候   | B  | 年雨量(rmm)が年平均気温(t°C)に対し、f気候: $r < 2(t+7)$<br>w気候: $r < 2(t+14)$ s気候: $r < 2t$ | s: 冬半年の雨量が年雨量の70%以上<br>w: 夏半年の雨量が年雨量の70%以上<br>f: 雨量の季節配分がs, wに入らないもの<br>h: 年平均気温 18°C以上<br>k: 年平均気温 18°C未満<br>k': 最暖月平均気温 18°C未満 |
| 乾燥気候    |    | BS   |  |
| 草原気候    |    | BW   |  |
| 砂漠気候    | BW | 年雨量が年平均気温に対し、f気候: $r < t+7$<br>w気候: $r < t+14$ s気候: $r < t$                  |  |
| 極気候     | E  | 最暖月平均気温 10°C未満   |  |
| ツンドラ気候  |    | ET   |  |
| 氷雪気候    |    | EF   |  |

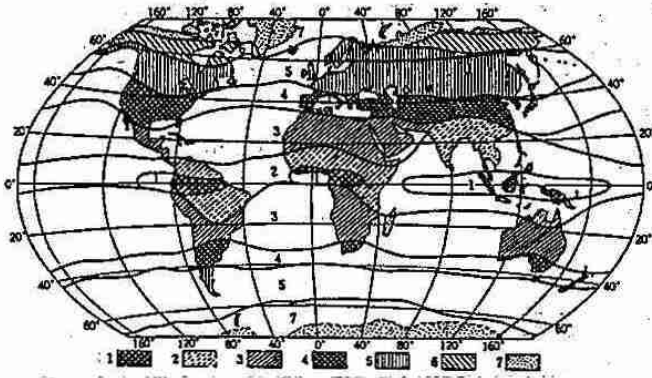
(山本, 田中, 太田 1973『世界の自然環境』による)

イ) ソーンスウェイトの気候分類

水収支の立場から気候分類を試みたものである。蒸発散位という概念（広域における土壌面や植生からの蒸発と発散のすべてを合計した蒸発散の量が、水が十分に供給されているときにどれだけあるかという量（最大可能蒸発散量ともいう）を導入。この量は気温が高いときは多く、低いときは少ないので、実際には月平均気温から、月の蒸発散位を求める計算図表を作成してこれを用いる。

ウ) フローンによる気候区分

成因による気候区分の一つで、降雨の特性と気圧及び風系帯を組み合わせ、世界を7気候帯に大別したものである。



第2図 アリソフの気候区分 (Flohn, 1957より)

表・アリソフの気候区分 (Alissow, 1954)

| 気候帯        | 気団   |      | 分  |
|------------|------|------|--|
|            | 夏    | 冬    |  |
| 1. 赤道気団地帯  | 赤道気団 | 赤道気団 | 1. 赤道大陸性気候<br>2. 赤道海洋性気候   |
| 2. 赤道季節風地帯 | 赤道気団 | 熱帯気団 | 1. 大陸性季節風気候<br>2. 海洋性季節風気候<br>3. 西岸性季節風気候<br>4. 東岸性季節風気候           |
| 3. 熱帯気団地帯  | 熱帯気団 | 熱帯気団 | 1. 熱帯大陸性季節風気候<br>2. 熱帯海洋性季節風気候<br>3. 海洋性高気圧の東縁気候<br>4. 海洋性高気圧の西縁気候 |
| 4. 亜熱帯地帯   | 熱帯気団 | 寒帯気団 | 1. 亜熱帯大陸性気候<br>2. 亜熱帯海洋性気候<br>3. 亜熱帯西岸気候<br>4. 亜熱帯東岸気候             |
| 5. 中緯度気団地帯 | 寒帯気団 | 寒帯気団 | 1. 中緯度大陸性気候<br>2. 中緯度海洋性気候<br>3. 中緯度西岸海洋性気候<br>4. 中緯度東岸海洋性気候       |
| 6. 亜極地帯    | 寒帯気団 | 極気団  | 1. 亜極大陸性気候<br>2. 亜極海洋性気候   |
| 7. 極気団地帯   | 極気団  | 極気団  | 1. 北極気候<br>2. 南極気候   |

(吉野正敏 (1978):『気候学』による)

エ) アリソフの気候区分

緯度と地表の状態を大気循環の状態によって区分したもので、緯度によって第2図のような気候地帯がつけられるという考えである。

オ) プディコの気候区分

熱収支と水収支の相対値を決める指数（プディコ指数、放射乾燥指数、放射乾燥度）を用いる気候区分である。これは降水量と純放射量の比が、主な自然地理的現象の発達と強い関係をもっているという考え方である。

カ) 日本の気候区分

1) 福井の気候区分

月・年平均気温で3つの大区分（北海道渡島半島を除く北日本、中部日本、奄美以南の南日本）を行い、次に降水量及びその季節配分によって10の中区分（北日本2、中部日本5、南日本3）、最後に降水量の季節配分に注目し、霜、雪、結氷の日数・期間、局地風などを考慮し、海岸地方では海霧、流氷、凍結の期間、山間地方の山霧などを考慮して細区分したものである（第3図）。

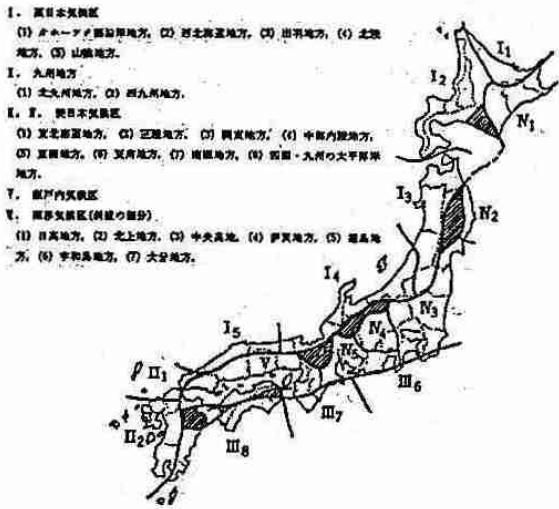


第3図 福井による日本気候区分 (福井, 1933)

2) 関口の気候区分

気候の熱的状态を示すものとして気温を、大気中の水の状態を示す指標として降水量を取り

上げ、天気状態を示すものとして日照率を取り上げ、気候の乾湿を示すものとして水分過剰量を取り上げた。これらの各要素の1年間の総量または平均値だけでなく、その各季節の状態つまり年変化型を考慮している(第4図)。



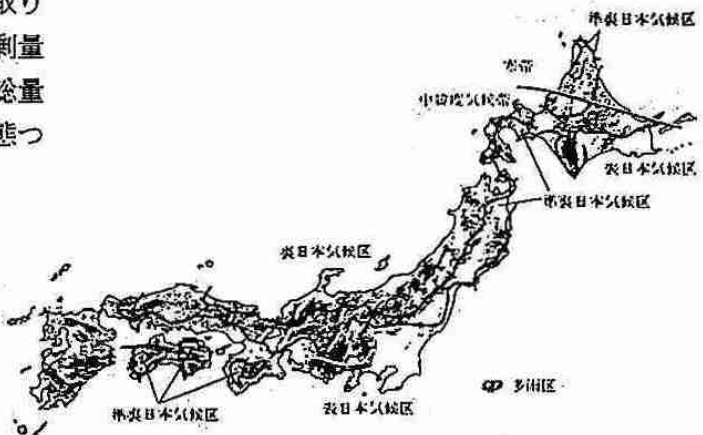
第4図 関口による日本の気候区分(関口, 1966)  
(斜線の部分は新春気候の地域)

### 3) 鈴木の気候区分

成因による区分法の一つで、日本は熱帯気団(T)と寒帯気団(P)の支配下にあるとして、それをさらに天候の平均的状态に注目して中区分を行い、日本における降水の一般的な原因は前線と低気圧であるとして、これらの原因による降水量分布で細分して区分を行ったものである。日本の大部分は、夏と冬で熱帯気団と寒帯気団が入れ代わるが、北海道北部だけは夏も冬も寒帯気団に覆われる(第5図)。

### 4) 前島の気候区分

日本の降水現象に注目して区分したもの。具体的には、梅雨季、秋霖、台風季、北西季節風季のうち、どの季節に降水量が最も多いかを、日降水量と、それぞれの自然季節の期間から求めた3降水区分に分け、さらに全国的な梅雨・秋霖現象の地域による発現の相異を組み合わせ、日本を9の気候区に分類した(第6図)。



第5図 鈴木秀夫による日本の気候区分。日本の大部分は、夏と冬で熱帯気団と寒帯気団が入れ代わるが、北海道北部だけは夏も冬も寒帯気団におおわれている。冬季、雪が必ず降るかどうかによって真日本、準真日本、表日本を分けた。さらに地形の影響によって雨の降りやすい多雨区を設定した。(鈴木秀夫, 1962による。国土地理院縮影図を利用)



第6図 (前島誠彦による)

### 5) ケッペンの分類による日本版気候区分

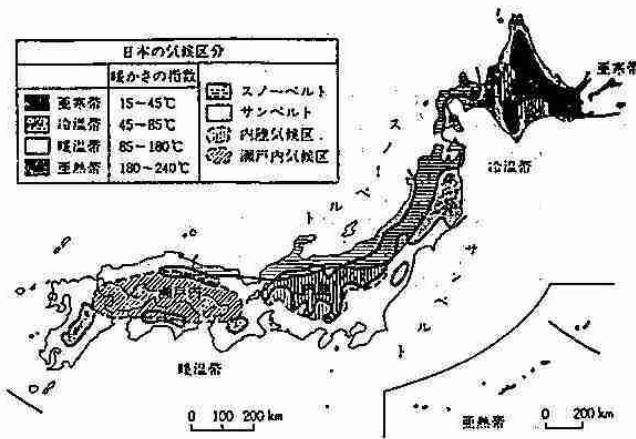
ケッペンの気候分類の方法に、高さの影響も考慮して、関口が詳しい日本の気候区分を行った結果である。

### 6) 中村他による気候区分

自然植生と対応がよい「暖かさの指数」で日本を亜熱帯・暖温帯・冷温帯・亜寒帯に区分する。さらに、冬が多雪域と少雪域をそれぞれスノーベルト、サンベルトとし、サンベルトの中に内陸気候区と瀬戸内気候区を設けている。



「暖かさの指数」とは、月平均気温が5℃以上の月について、(平均気温-5℃)の値を合計したものである(「吉良竜夫、1971年」に基づき最新の平年値で改変したもの)(第7図)。



第7図 日本の気候区分、自然植生と対応がよい「暖かさの指数」で日本を亜寒帯・暖温帯・冷温帯・亜寒帯に区分した。冬の多雪域と少雪域をそれぞれスノーベルト、サンベルトとよぶことにし、サンベルトの中に内陸気候区と瀬戸内気候区を設けた。(中村他、1986より)

7) 北海道の気候

ここで、北海道における気候の特徴を簡単に述べておこう。北海道は北緯41度から45度に位置し、中央に大雪・日高山系が北海道の屋根としてそびえ、西側は日本海に、東側はオホーツク海と太平洋に面して、本州とは違った特有の気候を形成するとともに、山系と海が北海道内での地域差を大きくしている。

ア) 北海道の夏は、梅雨前線が津軽海峡を北上して、北海道でも梅雨のような天気が続くこともあるが、毎年のことではない。前線が津軽海峡あたりまで北上する頃になると、上空の偏西風(ジェット気流)が弱まり、前線も不明瞭になるからである。したがって、北海道の夏の天候は、本州のような蒸し暑さはなく、爽やかな晴天と暑さが特徴的となる。北海道の東方洋上には千島列島に沿って南下してきた親潮が流れている、親潮の表面の温度は、夏でも14~18

℃である。一方、太平洋を北上する黒潮は三陸沖あたりで21~25℃もある。7~8月には、太平洋高気圧から吹き出す南からの風が、黒潮の上で暖められて水蒸気をたっぷり含んだ後に、親潮の上で急に下から冷やされて、霧が発生する。このような気流が移動しながら発生する霧を移流霧と呼び、千島列島と北海道南東洋上でよく発生するので、海霧(ガス)とも呼ばれている。この霧は内陸に入ると下から暖められて、次第に消えていく。したがって霧日数は海岸から内陸に向かって急に減少する。この海霧の中の水滴は直径が40~50μmと内陸の霧に比べてかなり大きく、水量(霧水量)にすると1㎡の空气中0.1g以上にもなると言う。この霧がかかると、日照時間が少なくなるばかりでなく、地表面に達する太陽エネルギーの多くが霧滴の蒸発に使われてしまうので、気温が上がらない。5~9月の日照時間の総計は、北海道西海岸とオホーツク海沿岸の南部で900時間前後にも達するのに、太平洋岸ではそれより200時間も少なく、8月の平均気温はやっと19℃前後である。北緯45度付近で夏の気温がこんなに低いのは、寒流の流れている海上を別にすれば、北アメリカ大陸東岸のニューファンドランド島ぐらいである。一方、上川盆地や十勝平野などの内陸部では、夏にかなりの高温になり、旭川や帯広などでは日最高気温が30℃以上になる真夏日が10日前後もある。

イ) 北海道の冬は、同緯度帯の他の地点に比べて意外と寒い。例えば1月の平均気温では、アメリカのシアトルやフランスのボルドーと旭川では13℃前後も差がある。これはアジアの東岸では、世界でも有数の寒気がシベリアから流れだしてくるからである。内陸の盆地や脊梁山地を越えた東部の平野部では、放射冷却が加わって、厳寒期には地表面付近の温度が-30℃前後まで低下することが多くなる。このような寒さが続くため、平地でも土壤凍結が起り、凍結の深さは、雪の多い西部では40~50cmだが、東部では80cmにも及ぶ。

### 3. 季節の話

#### 1) 季節認識としての気候学の歴史

ところで、気候が「大気の平均状態である」と言うように、気象学の一分野として学問的に定義される(気候学)ようになったのは、そう古いことではなく、温度計や気圧計によって科学的な気象観測が開始される、十七世紀に入ってからである。しかし、気候を時間の概念、即ち「季節」の認識として捉えた場合は、その歴史は古く、おそらく文明発祥の起源まで遡ると言ってよいだろう。暦ができる以前、日数を正確に数えることを知らなかった未開民族の間にも、一年を「乾いた季節」、「雨が降る季節」と言うように、漠然とした時間単位で考える習慣があり、後にこの季節現象の正確な認識と天文学の発展から、太陽歴の「年」を発見したことはよく知られている(古代エジプトの天文学者達は、ナイル河の洪水現象に規則正しい一年周期があることを知り、エジプトの明星と言われるシリウス星が、夜明けの地平線から昇る時に洪水が始まることを発見した。) 暦の発見以来、歴法の歴史は暦の日付けを実際の季節にいかに関係させるか、の問題を巡って発展してきたと言える。換言すれば、「季節」の認識としての気候学の歴史は、この太陽歴の発見によって、一年を単位とする正確な季節現象の把握が可能になったときに始まる、と言ってよい。

#### 2) 季節学

各種の季節現象の生起の時期の地域による相違、年々の変動、ある季節現象と他の季節現象との関係、季節現象に対する気象、気候の影響などを調べ、法則性を見いだす学問。通常、気候学の一部門とみなされる。

#### 3) 季節区分

「春暮れて後、夏になり、夏果てて、秋の来るにはあらず。春はやがて夏の気をもよほし、夏より既に秋はかよひ、秋は即ち寒くなり、」(徒然草「第155段」)と、兼好法師がいみじくも言っているように、一般に使われている四季の区別は、主として寒暖の変化に結び付いた漠然としたものであって、何月何日から「春」と言うように定義で

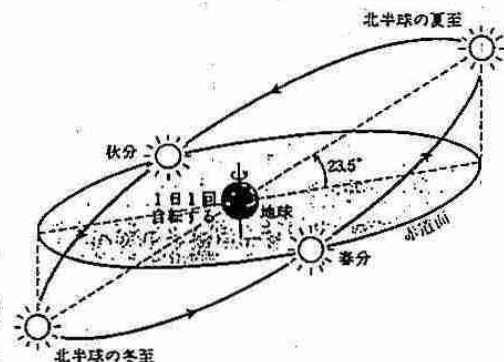
きるものではない。このように、自然界に現れる季節現象は、多くの場合その土地に固有のものであるが、同じ土地でも年によって遅速が大きく、従って暦の上に、土地や年による季節の変化を細かに表現しようとするれば、きわめて煩雑なものになってしまう。暦の季節は、農事やその他の必要から、かなり広い地域にわたって自然界の季節現象が共通するような、一応の標準となる季節区分として生まれたものであり、暦は人間社会における一つの約束ごとと言えよう。暦の季節区分が実用を目的としたものである以上、目的によって区分の方法が異なるのも当然であり、一般には次のものが考えられている。

#### 4) 慣用気候季節

北半球における四季の区分は、多くの国で、春(3~5月)、夏(6~8月)、秋(9~11月)、冬(12~2月)としており、この区分は中緯度の広い範囲で、春は農耕開始、芽生え、夏は繁茂、秋は収穫・落葉、冬は農閑期・荒涼、という一般的な四季の概念と一致している。しかし、低緯度や高緯度では雨期と乾期、あるいは長い冬と短い夏、と言うように二季が卓越し、中緯度のような四季の区分は適用できない。

#### 5) 天文季節(光の季節)

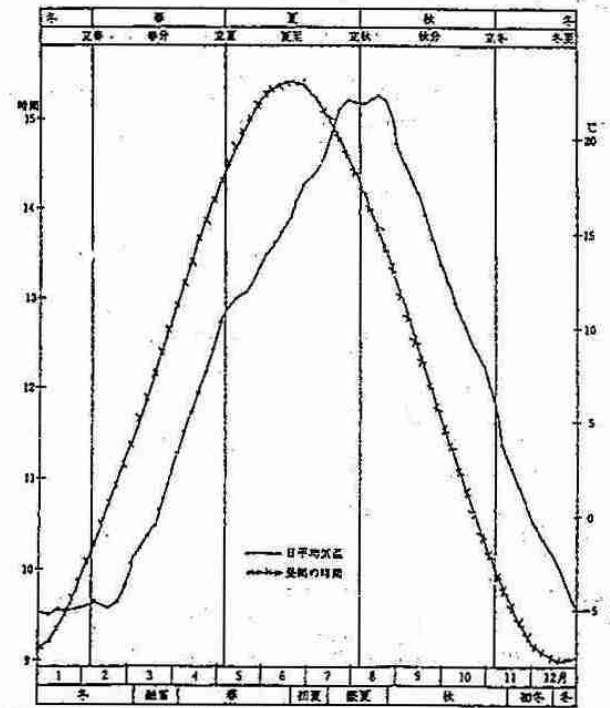
これは地球上から見た太陽の見かけ上の年周運動の道筋(黄道上)の特定の点を太陽が通過する日付をもって季節区分とするものである。



第8図 “天動説”の立場で描いた太陽の動き方。地球は鉛直軸のまわりに1日1回自転している。太陽は、水平面(地球の赤道面)と23.5度傾いた平面上を1年かけて1周する。地球が楕円軌道を描いて公転するため、季節によって太陽・地球間の距離は異なる(ただし、楕円は誇張して描いてある。実際は円に近い)。(中村他、1986より)

特定の点としては、春分点（3月21日頃）、夏至点（6月22日頃）、秋分点（9月23日頃）、冬至点（12月22日頃）、の二至二分が、あるいはその中間の、立春（2月4日頃）、立夏（5月6日頃）、立秋（8月7日頃）、立冬（11月7日頃）、が用いられる。地球上の季節現象は、太陽の運行に従って起こるものであるから、このような太陽の位置による季節の区分は、理にかなったものと言える（第8図）。

天文季節による四季の区分は、西洋（ヨーロッパ）と東洋（中国、日本）で異なり、東洋の春は立春から立夏の前日、夏は立夏から立秋の前日、秋は立秋から立冬の前日、冬は立冬から立春の前日まで、一方、西洋の季節区分は、二至二分がそれぞれの季節の始まりに置かれている。第9図は、札幌における日の長さ（黒い線）と気温の年変化を示したもののだが、これによると、昼間の時間は夏至に最も長くなり、気温の極値はそれより1か月半も遅れて現れることがわかる。日本の四季は、日の長さの季節変化から見るとたいへん合理的であるが、気温による季節感とは著しくずれており、その点では西洋の四季の区分の方が実際の気温の季節変化にあっているといえる。



第9図 光の季節、気温の季節（札幌）

しかし、生物が季節の変化を感じて反応を示すのは、気温の変化に対してだけではない。気温の変化に先行して起こる光の変化に対しても敏感に反応しているのである。たとえば、春の到来を告げる鳥のさえずりの開始は、気温よりも日の長さの変化に強く影響されており、また、植物の花芽や葉芽などは、気温が最も低い1月から2月にかけても、しだいに伸びる日差しの強さに反応して着実に成長している。

#### 6) 24節気72候と季節学の発展

中国や日本に古くから普及している季節区分に24節気72候がある。24節気は太陽の運行を24等分し、その区分点を節気と名付け、それぞれの節気に立春、雨水など、その頃の季節的な特徴を現す名称を付けたものである。72候は、節気と節気の間を3等分して、一候、二候、三候とし、それぞれにその季節に対応した自然現象を表現したものである。この24節気72候の発祥の歴史はたいへん古く、中国の秦（紀元前3世紀頃）の時代前後にできたものと考えられている。従って、この中に示されている季節描写や自然現象は、中国の主として黄河流域の自然が対象となっているため、気候風土の異なる日本でそのまま使用するにはいろいろと不都合が生じてくる。24節気72候が日本に入ってきたのは7世紀頃と言われているが、江戸時代まではほぼそのままの形で使われていたらしい。江戸貞享年間に、安井春海が「貞享暦」を編んだとき、日本の気候に合うように改良されたのが「本朝72候」と呼ばれているもので、これが長い間使われていた。しかし、同じ日本でも北と南では対応する自然現象は異なるので、昭和に入って気象学者や農業気象学者達によって、日本各地の観測資料に基づく地域別の季節暦が作られて今日に至っている。ちなみに、北海道における季節区分の一例を示すと、「融雪」（3月5日～4月3日）、「春」（4月4日～6月19日）、「初夏」（6月20日～7月16日）、「盛夏」（7月17日～8月27日）、「秋」（8月28日～11月17日）、「初冬」（11月18日～12月15日）、「冬」（12月16日～3月4日）と、1年を7季に区分したものがあり、こ



れだと北海道に住む者にとっても素直に実感できるであろう。

#### 7) 24節気

立春：2月4日頃。春の始まりで、この日から立夏の前日までが春である。太陽の明るさが実感できる季節である。

雨水：2月19日頃。雪の日が少なくなり、この頃から雨が降るようになるという意味。

啓蟄：3月6日頃。冬眠していた虫が穴から出てくる頃という意味。この頃に鳴る雷を「虫出しの雷」と言う。

春分：3月21日頃。太陽の黄径0度。昼夜の長さがほぼ同じになり、この日を境に昼間の時間が長くなっていく。

清明：4月5日頃。清浄明潔の略で、気持ちのよい季節の意味。

穀雨：4月20日頃。春雨が降って百穀をうるおし、芽を出させるという意味。

立夏：5月6日頃。夏の始まりで、この日から立秋の前日までが夏である。野山に新緑が目立ち始め、夏の気配が実感できるようになる。

小満：5月21日頃。陽気がよくなって、草木などの生物がしだいに成長して生い茂るという意味。

芒種：6月6日頃。稲の穂先のように芒（ノギ）のある穀物の種蒔きをする頃という意味。

夏至：6月21日頃。太陽黄径90度。1年中で一番昼が長い。

小暑：7月7日頃。梅雨明けが近く、本格的な暑さが始まる頃。蓮の花が咲き始め、鷹の子が巣立つ頃とも言われる。

大暑：7月23日頃。最も暑い頃という意味。実際にはこれより半月ほどずれて、8月上旬頃が最も暑い時期である。

立秋：8月8日頃。秋の始まりで、この日から立冬の前日までが飽秋である。1年で一番暑い頃だが、この頃から気温はしだいに上昇から下降に変わる。立秋以後の暑さを残暑と言う。

処暑：8月23日頃。暑さもおさまると言う意味。収穫の季節の目前だが、秋雨の季節が始まるときでもある。

白露：9月8日頃。野の草に露が結んで白く見えると言う意味で、秋の気配がひとしお実感できる頃である。

秋分：9月23日頃。太陽黄径180度。昼夜平分、この日を境に「秋の夜長」が始まる。残暑も弱まり、日毎に冷気が強まる。

寒露：10月8日頃。冷たい露が結ぶ頃という意味。秋の長雨が終わり、これからが本格的な秋。菊が咲き、ガンが渡って来る頃。

霜降：10月23日頃。霜が降りる頃と言う意味。初霜の降りる日は、北と南では大きく異なる。

立冬：11月7日頃。冬の始まりで、この日から立春の前日までが冬である。北日本では初雪が降り、近畿・関東では木枯らしが吹き出す頃。

小雪：11月22日頃。冷え込みが厳しく、小雪がちらつき始める頃と言う意味。この頃から西高東低の冬型気圧配置の日が多くなる。

大雪：12月7日頃。雪が大いに降り積もる頃と言う意味。冬將軍の到来を感じさせる季節である。

冬至：12月22日頃。太陽黄径270度。1年中最も夜の長い日。暦では冬の真ん中だが、寒さはこれからが本番。

小寒：1月5日頃。この日が「寒の入り」で、「節分」までが「寒の内」である。寒気がまだ最高ではないが、寒さがしだいに厳しくなっていく頃。

大寒：1月20日頃。1年中最も寒い頃と言う意味。最低気温が観測されるのは、この頃から立春頃までの間のことが多い。

#### 4. 暦の話

暦は、1年中の月・日・曜日、祝祭日、季節、日の出・日の入り、月の満ち欠け、日蝕・月蝕、また主要な故事・行事などを日を追って記載したものであり、太陰暦、太陽暦、太陰太陽暦（日本の旧暦）などがある。

現在使われている暦は太陽暦。明治初期まで使われていた暦は旧暦と呼ばれた太陰太陽暦のことで、今の暦でも表記されているものがある。旧暦は月の満ち欠けの1周期約29.5日を1か月としていたため、1年12か月が354日余りとなり、太陽



年より11日短い。そこで、2～3年に1度13か月のうるう年を設けて、太陽年と同じになるように調整していた。しかし、この旧暦では、季節が1か月ずれることもあるので、とくに農作業などに不便だった。24節気は、この欠点を補うために、中国で作られたものである。春分を基点に太陽の黄道を15度ずつ24等分して、それぞれの季節にふさわしい名前が付いている。また、5日を一候として、1年間を72等分して72候を作り、その時期に特徴的な自然現象を記し、季節を知る目安とした。これで、暦の日付はずれても、毎年同じ季節に同じ節気が暦に載るようになり、便利になったのである。しかし、24節気は古代中国の黄河流域の季節に基づいているので、日本、とりわけ北海道に置き換えるとずれるを感じる場合が多い。雑節は、さらに季節の変化をつかむために補助的に作られたもので、日本独自のものである。以下に雑節の解説を記す。

彼岸：春と秋の2回あり、それぞれ春分、秋分を中心として前後3日間を含む7日間をいう。

八十八夜：立春から数えて88日目の5月2日頃。霜の季節の終わりを告げる頃で、この頃の遅霜は被害が大きくなるため、農家に注意を促すために暦に掲載された。

入梅：6月11日頃。太陽の黄径80度を入梅としているが、南北に長い日本では、実際の梅雨入りは、年により、地域により異なる。

半夏生：7月2日頃。地方によって、この日までに田植えを終わらせる習慣があり、八十八夜とともに、農作業の大切な目安だった。

土用：旧暦では、立春、立夏、立秋、立冬の前の18日間を土用といていたが、現在では夏の土用だけが使われていて、土用の丑の日にうなぎを食べて暑気払いをする習慣が残っている。

二百十日：9月1日頃。立春から数えて210日目。古くから、台風が来て暴風雨が起りやすい日と言われて、台風に対する警戒すべき日として、暦に載せられたのであろう。

節分：2月3日頃。旧暦では、立春、立夏、立秋、立冬の前日の季節の変わり目を言ったが、現

在の暦には立春の前日だけが載るようになった。

## 5. おわりに

大陸の東側に狭い海をはさんで北緯24度から45度にまで連なる弧上列島からなる日本は、同じ中緯度帯にある諸外国とはかなり違った気候条件にある。しかも大陸高気圧と北太平洋高気圧という大きな二つの高気圧の張り出しの季節変化、それに伴う梅雨前線と秋雨前線の北上と南下とによって、気候条件はこの狭い国内でも大幅に変化する。とりわけ北海道は緯度が高く、周囲を特徴ある3つの海に囲まれているため、なおさら複雑である。このような気候の違いを背景として古くから多様な季節感が生まれ、生活の中に根づき、日常生活を暗黙裡に律してきた。結果的には多彩な季節感を表すのに、私たちの先祖は中国の太陰暦のなかにあった24節気を借用したのである。しかし、これはもともと黄河流域の農民の作物栽培暦であったものを、そのまま日本に持ち込んだためにいろいろと不都合が生じたのである。したがって、暦の季節を用いる場合には、地域による気候条件の違いを充分考慮したうえで解説することが大切となってくる。最後に、日本各地の気象条件の動向とこの24節気とを一緒にした季節表現の一例を第10図、第11図に示してこの小講義を終えよう。「季節は南から北へ、そして北から南へ」。この小講義を通して、「気候」の複雑さや暦の「季節表現」と実際の「季節感」の違いなどについて理解するうえでの参考にもなれば幸いである。

## 6. 参考文献

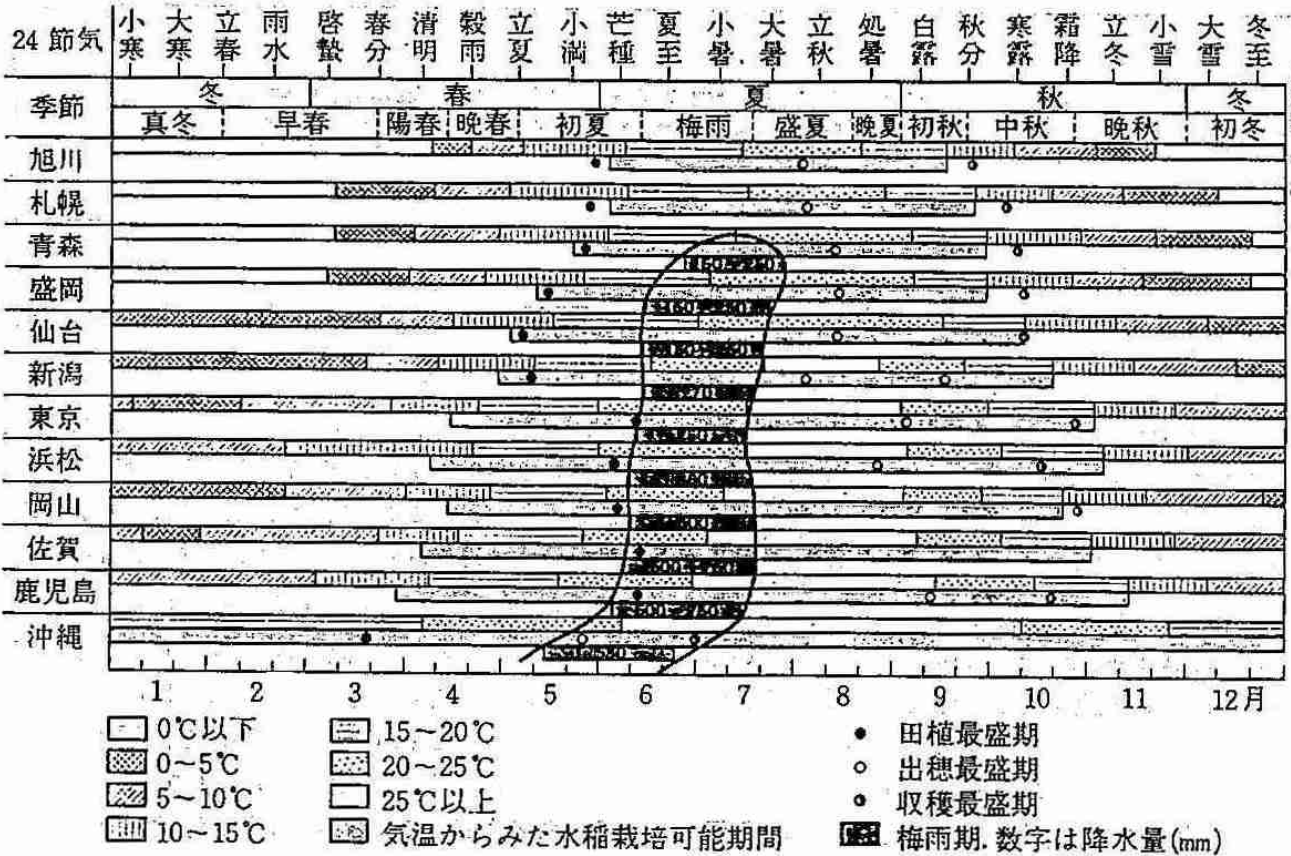
吉野正敏、気候学：1978年 大明堂

吉野正敏、世界の気候・日本の気候：1979年  
朝倉書店

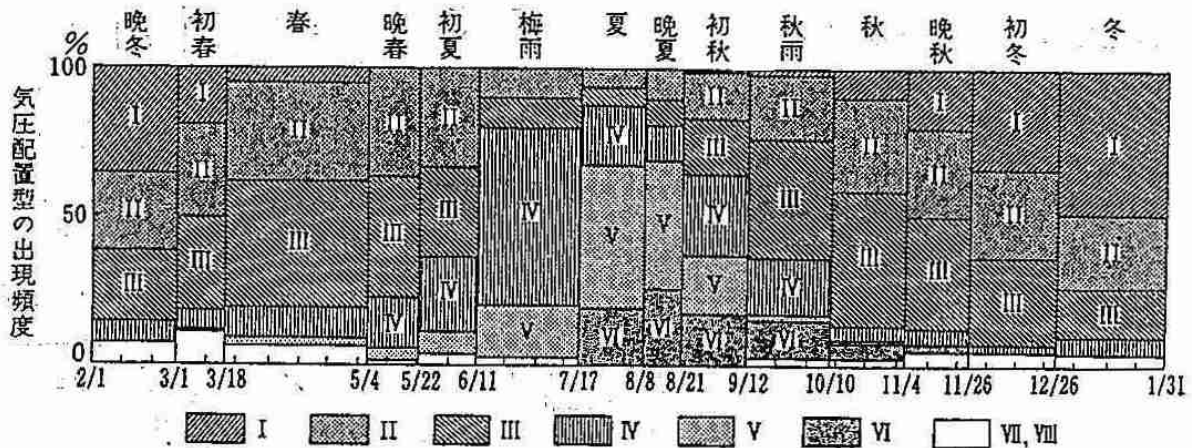
福井英一郎他、日本・世界の気候図：1985年  
東京堂出版

水越允治・山下脩治、気候学入門：1985年  
古今書院

中村和郎他、日本の気候：1986年 岩波書店



第10図 日本各地における季節(気温)と水稻栽培期間。各地の色刷りの棒グラフが気温変化を表している。南から北に移動するにしたがい、水稻栽培可能期間(棒グラフの下の色アミの部分)と実際の稲作期間(●から○)との間の余裕は少なくなり、新潟以北ではそれらが一致してしまう。気候変動の稲作への影響は北ほど大きく、同じ地域では山地に登るほど大きい。(農林水産省・気象庁資料などより作図)(中村他、1986より)



第11図 各季節における各気圧配置型の出現頻度  
 I. 冬型 II. 気圧の谷 III. 移動性高気圧 IV. 前線 V. 夏型 VI. 台風 (吉野・甲斐, 1977).

### 3. 降水の酸性化(酸性雨)

北海道環境科学研究センター 研究員 野口 泉

#### 1. はじめに

日本では雨の名称だけでも霧雨、小雨、雷雨、大雨、五月雨、梅雨、秋雨、時雨、氷雨、驟雨、夕立、長雨、霜雨、通り雨・・・など、雨や雪(降水)に関する名称は数多い。これは日本人が降水に強い関心をもっていることを示している。降水は作物の出来不出来を左右し、多く降れば水害、土砂崩れなどを、降らなければ干ばつ、飲料水不足などを引き起こす。これらは雨の名称に示されるように、降水量、降水時間、季節(気温)などに関する要素の影響が大きく、これらの要素は降水の物理的性質と言える。

一方、降水は自然界の水の循環の一部であるが、水は様々な物質を溶かすことができる最も優れた溶媒である。例えばスープの種類の多さと味の複雑さは、水が数多くの物質を溶かすことができるからである。また水は生物の体内でも栄養分を溶かして運ぶなど、生物になくてはならない役割を果たしている。そのため別の視点から見ると、水の循環は水に含まれた物質の移動とみなすことができる。すなわち降水は大気から土壌、河川・湖沼へ物質を運ぶ現象と考えることができる。これらは、降水の化学的性質と言える。この降水の化学的性質が、現在重大な問題になっている。

#### 2. 降水の化学的性質

降水の中には大気中に存在する様々な物質が溶けている。従来は土壌や植物及

び海(海塩)などが主な発生源であった。しかし、産業革命以降の人間の活動、特に石油や石炭などの化石燃料の使用量が増加するに従って、大気中に二酸化硫黄( $\text{SO}_2$ )や窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )などのいわゆる大気汚染物質が多く排出されるようになった。これらが降水に多く含まれるようになり、湖沼や森林に影響を与えるようになった(図1参照)。これらの大気汚染物質は硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )や硝酸( $\text{HNO}_3$ )として降水に取り込まれるため、この環境問題は「酸性雨」(降水の酸性化)と呼ばれる。

降水中に溶けている物質は分離し、成分として検出される場合が多い。特に酸性雨に関する物質はイオン成分として降水中に存在する。主なイ

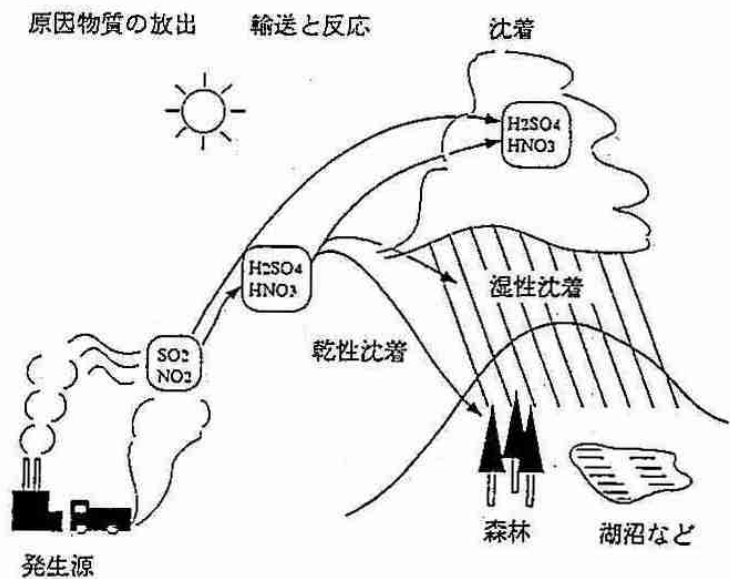


図1 酸性雨の全体像(原、1991)

オン成分は、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ )、塩化物イオン ( $\text{Cl}^-$ ) などの陰イオン、水素イオン ( $\text{H}^+$ )、ナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ )、カリウムイオン ( $\text{K}^+$ )、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ )、マグネシウムイオン ( $\text{Mg}^{2+}$ ) 及びアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ ) などの陽イオンである (図2参照)。

$\text{H}^+$ 濃度は、新聞などでしばしば報道される「pH」という指標で表されることが多い。これは酸の強さを表す指標で、数字が小さいほど酸が強く、 $\text{H}^+$ 濃度が高いことを示す。またpHは4と3では10倍、4と2では100倍 $\text{H}^+$ 濃度が高いことを表す。 $\text{H}^+$ 濃度や沈着量 (濃度×降水量) は、後述する臨界負荷量などに用いられ、降水の酸性化のみならず、土壌や陸水の酸性化を予測するための重要な指標である。なお、 $\text{H}^+$ 濃度は他の成分 (陽イオン、陰イオン) のバランスによって決定され、陰イオンの和から $\text{H}^+$ を除く陽イオンの和を引いた値が $\text{H}^+$ になる。

$\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ は、日本では主に海塩由来の成分と考えられている。(  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ などは海塩に由来する成分と他の発生源に由来する成分があり、 $\text{Na}^+$ を基準に海塩組成比から非海塩由来の $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ を算出し、これらを $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 、 $\text{nss-Ca}^{2+}$ と表す (nss- はnon sea saltの略)。

$\text{nss-SO}_4^{2-}$ は、火山から排出されるガス、微生物活動によって排出される硫化水素などの自然発生源由来の場合があるが、主に化石燃料の燃焼によって発生する硫黄酸化物に由来する成分であり、硫酸として降水に含まれることが多い。そのため、その濃度や沈着量は降水の酸性化、土壌や陸水の酸性化に関する重要な指標である。

$\text{NO}_3^-$ は、主に化石燃料の燃焼によって発生する窒素酸化物に由来する成分であり、硝酸として降水に含まれることが多い。そのため、降水においては $\text{nss-SO}_4^{2-}$ とともに酸性成分と呼ばれる。しかし土壌中では、微生物の活動に使われる際に土壌の酸性化を抑制する働きをする場合がある。また陸水では、湖沼の富栄養化の原因となる栄養塩である。その濃度や沈着量は $\text{H}^+$ 、 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ と同様に降水の酸性化、土壌や陸水の酸性化などに関する重要な指標である。

$\text{NH}_4^+$ は、農業で使われる肥料や酪農の家畜の糞尿、さらに化石燃料の燃焼などに由来する成分である。降水においては酸を中和するアルカリ成分であるが、土壌中では微生物の活動に使われる際に土壌の酸性化を促進する働きをする場合がある。また $\text{NO}_3^-$ と同様に、陸水では湖沼の富栄養化の原因となる栄養塩である。その濃度や沈着量は $\text{H}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ と共に土壌の酸性化などの重要な指

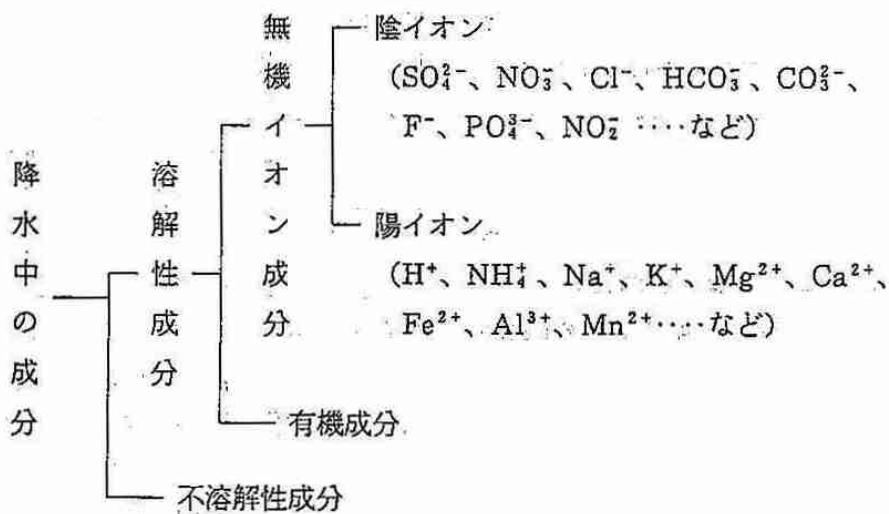


図2 降水中の成分



標である。

$nss-Ca^{2+}$ は、土壤粒子（黄砂など）、道路粉塵等に由来する成分であり、酸を中和するアルカリ成分である。 $H^+$ 濃度、沈着量の増加は、 $nss-Ca^{2+}$ 濃度、沈着量の減少によっても引き起こされることから、降水の酸性化に関する重要な指標である。

$K^+$ 濃度や沈着量は、降水試料が植物の種子や葉、鳥の糞尿などに汚染されていないことを調べる上で重要な指標である。

これらの成分は、前述したように陽イオン、陰イオンに分けられるが、陰イオンの和と陽イオンの和がほぼ等しくなることなどによって、分析結果の精度を確認する方法が確立されている。

### 3. 降水の酸性化の評価

降水の酸性化の評価方法は2種類あり、一つは降水のpH、もう一つはイオン成分の負荷量である。

pHの場合、しばしばpH5.6という値が用いられる。これは蒸留水に大気中の二酸化炭素が十分とけ込んだ時のpH値であるため用いられる。しかし実際の環境では、火山の周辺地域やアルカリ成分を多く含んだ土地帯もあり、自然由来の成分によっても降水のpHは大きく変わる。また前述したように降水中では酸性化に働くが、土壌や陸水中では酸性化を抑制する成分（ $NO_3^-$ ）やその逆の働きをする成分（ $NH_4^+$ ）もあり、陽イオンと陰イオンのバランスで決定されるpHのみでは、降水による環境への影響を把握することは難しい。

イオン成分の負荷量による評価方法としては臨界負荷量と呼ばれる指標がある。負荷量とは、各成分の沈着する総量のことである（例えば1年間に1㎡当たり何トンの $H^+$ が降ってきたか？など）。臨界負荷量は、被害が発生する限界の負荷量を経験的に求めた値である。すなわち、欧州や北米などにおいて実際に酸性化した湖に降っていた降水中の成分の量を基準にする方法である。しかし、影響を受ける陸水や土壌の酸に対する緩衝

作用等は複雑で、現在も様々なモデルが提案されており、これらは各地域の地質、植生、気候及び風土などによっても異なることから、まだ検討しなければならない問題が多く残されている。

これらのことから、現在はまだ酸性雨の明確な基準を設定することは難しいと考えられている。

### 4. 降水の酸性化の歴史

欧州、北米及び日本における酸性雨に関する主な歴史的経緯を表1に示す。

酸性雨（Acid rain）という言葉は、19世紀後半、英国のアンガス・スミスが著書

「大気と雨」において当時の大気汚染を形容するのに初めて用いた言葉である。しかし、当時は健康被害を引き起こす局地的な大気汚染問題が主であり、降水の酸性化はその副産物でしかなかった。むしろ降水は大気汚染物質を取り除いてくれるまさに「恵みの雨」であったのである。その後、局地的な大気汚染問題を解消するため、欧州などでは煙突を高くして大気汚染物質を遠くへ拡散させる対策をとった。これにより、工場近くの大気中の汚染物質濃度は減少したが、排出される量は増加の一途をたどった。そのため、大気汚染物質の発生源から遠く離れた地域でありながら、降水中には多くの大気汚染物質が含まれるようになったのである。これらの地域の中には土壌の耐酸性が弱い地域もあり、生態系を破壊するほどの土壌や陸水の酸性化がみられるようになった。この時、降水の酸性化、いわゆる酸性雨問題がはじめて認識されたのである。このような降水の酸性化は欧州や北米では改善されつつあるが、世界的には大気汚染物質の排出量は減少しておらず、産業革命以来進行しつづけていると考えられている（図3参照）。特に現在、アジアなどの発展途上国におけるエネルギー消費量の増加は著しい。そのため降水の酸性化に関わる世界の研究者は、東アジアを今後最も被害が予想される地域として指摘しており、日本もこの地域に含まれている。

日本において初めて降水の酸性化が認識されたのは、1970年代に目や皮膚の刺激などの霧雨によ

表1 酸性雨に係わる取り組みの移り変わり(抜粋)

## ヨーロッパ

|       |  |
|-------|--|
| 1872年 | 英国のアンガス・スミスが著書「Air and Rain」の中で初めて酸性雨という言葉を用い、当時の英国の大気汚染を形容した。 |
| 1880年 | 死者1200人を出す「ロンドン・スモッグ」が発生する。                                    |
| 1911年 | ノルウェー南部で初めてのサケの大量死。  |
| 1948年 | スウェーデンのハンス・エグナーは初めての広域調査となる降水モニタリングを始めた。                       |
| 1952年 | 死者4000人を出す最悪の「ロンドン・スモッグ」が発生する。                                 |
| 1957年 | 「国際地球観測年」を契機に全欧州の観測網が整備された。                                    |
| 1968年 | スウェーデンのスパンテ・オーデンは北欧の酸性雨の原因物質が英国や欧州中部から飛来することを検証した。             |
| 1972年 | ストックホルムで第1回国連環境会議が開催され、国境を越えた大気汚染が議題になる。                       |
| 1977年 | 大気汚染物質の監視と長距離輸送の評価に関する協同研究計画(EMEP)が発足する。                       |
| 1979年 | 欧州経済委員会(UNECE)において、国際間で協力して酸性雨に取り組むことをうたった「ジュネーブ条約」を採択した。      |
|       | 大気汚染、降水調査のためのヨーロッパ監視評価計画(EMEP)が実施される。                          |
| 1985年 | SO <sub>2</sub> の排出量を30%削減することを定めた「ヘルシンキ議定書」が締結される。            |
| 1992年 | 「環境と開発に関する国連会議」(地球サミット)にて「アジェンダ21」が採択される。                      |

## アメリカ、カナダ

|       |  |
|-------|--|
| 1948年 | ピッツバーグの郊外ドノラでスモッグ発生、6000人が健康被害を受け、20人が死亡。                  |
| 1963年 | 「大気浄化法」が制定される。   |
| 1963年 | ジーン・ライケンスが降水の観測を始める。                                       |
| 1970年 | 「大気浄化法」が改正される。   |
| 1972年 | カナダのハロルド・ハーベイが、湖の酸性化と魚類の死滅に関して発表。                          |
| 1973年 | 全米の小中学生による酸性雨調査が行われる。                                      |
| 1976年 | 「大気降下物評価計画」(NADP)が発足する。                                    |
| 1978年 | 「酸性降下物調査計画」(NAPAP)がNADPを母体として発足する。                         |
| 1979年 | UNECEにおいて、国際間で協力して酸性雨に取り組むことをうたった「ジュネーブ条約」を米国、カナダも同時に採択した。 |
| 1980年 | アメリカで「酸性降下物法」が制定される。                                       |
| 1984年 | カナダで「SO <sub>2</sub> 排出削減計画」が策定される。                        |
| 1980年 | アメリカで「新大気浄化法」が制定される。                                       |
| 1992年 | 「環境と開発に関する国連会議」(地球サミット)にて「アジェンダ21」が採択される。                  |

## 日本

|       |   |
|-------|---|
| 1884年 | 足尾銅山で銅の精錬が始まる。  |
| 1973年 | 関東地方を中心に霧雨による目や皮膚の刺激などに対する住民の訴えが相次ぎ、キュウリやタバコの葉が茶褐色に枯れる。 |
| 1974年 | 関東地方を中心に前年を大きく越える3万人以上の住民の訴えがある。                        |
| 1975年 | 関東地方で「湿性大気汚染調査」が始まる。                                    |
| 1983年 | 環境庁の「第一次酸性雨対策調査」が始まる。                                   |
| 1985年 | 関東地方のスギ枯れと酸性雨、オキシダントに関して初めて報告される。                       |
| 1988年 | 環境庁の「第二次酸性雨対策調査」が始まる。                                   |
| 1990年 | 中部山岳地帯の河川のpHが低下しつづることが報告される。                            |
| 1992年 | 「環境と開発に関する国連会議」(地球サミット)にて「アジェンダ21」が採択される。               |
| 1993年 | 環境庁の「第三次酸性雨対策調査」が始まる。                                   |
|       | 「第1回東アジア酸性雨モニタリングネットワークに関する専門家会合」が開催される。                |

る健康影響によってであった。その後健康影響に関する報告は減少したが、降水の酸性化の影響に関する調査研究は全国に拡大した。その中では、関東地方のスギ枯れや苫小牧地方のストロブマツの異常落葉、広島松の立ち枯れ、神奈川の大山、群馬の赤城山、さらに記憶に新しい奥日光における種々の樹木の立ち枯れや日本海側の地域におけるナラ類の枯死などの植物影響が観測されており、酸性降水や酸性霧との関連が検討されている。また陸水への影響についても、中部山岳地帯の河川のpH低下などが報告されている。

5. 降水の酸性度

実際に土壌、陸水の酸性化が起こった欧州や北米の降水の平均pHの分布を図4、5に、また日本の平均pHの分布を図6、7に示す。また世界の降水中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度及び沈着量を図8、9に示す。

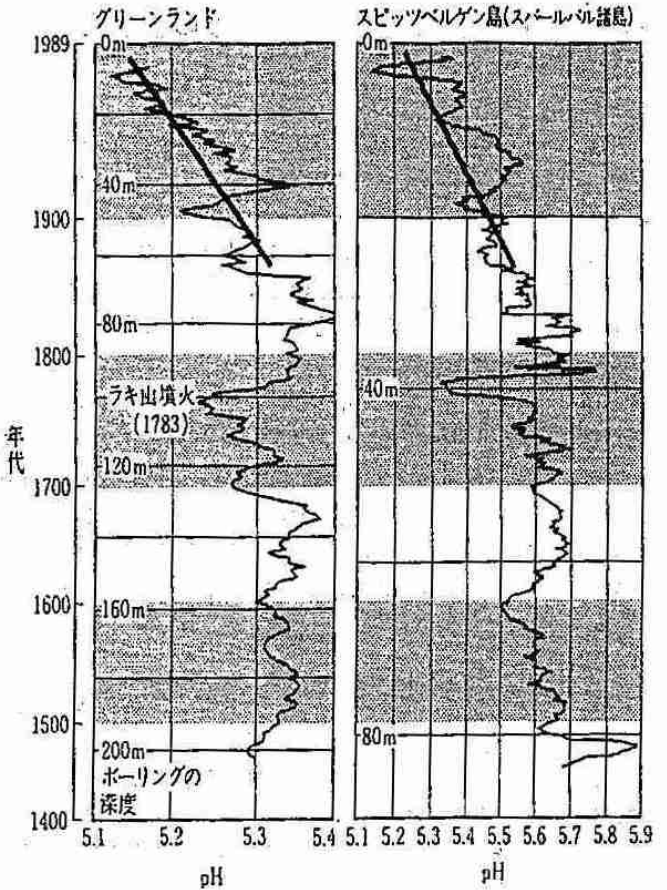


図3 18世紀後半から酸性が強くなってきた北極圏の氷雪層 (藤井理行、1991)

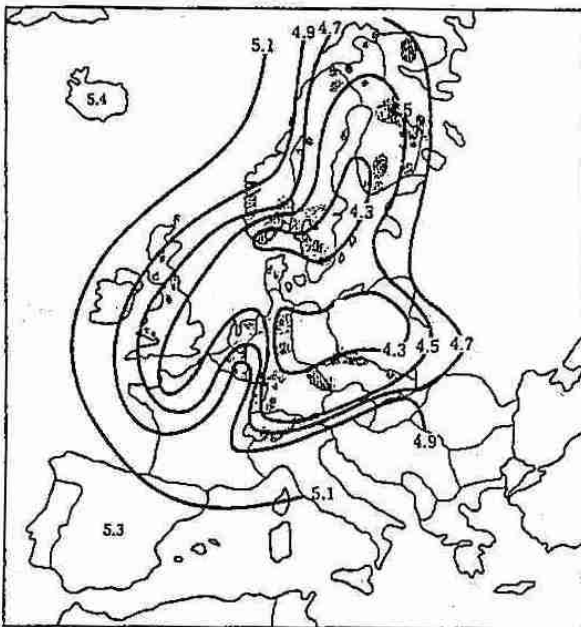


図4 欧州の酸性雨の状況  
出典: Co-operative Program for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe.

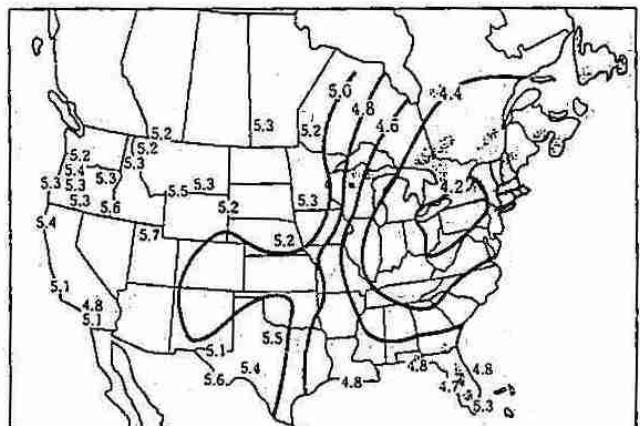


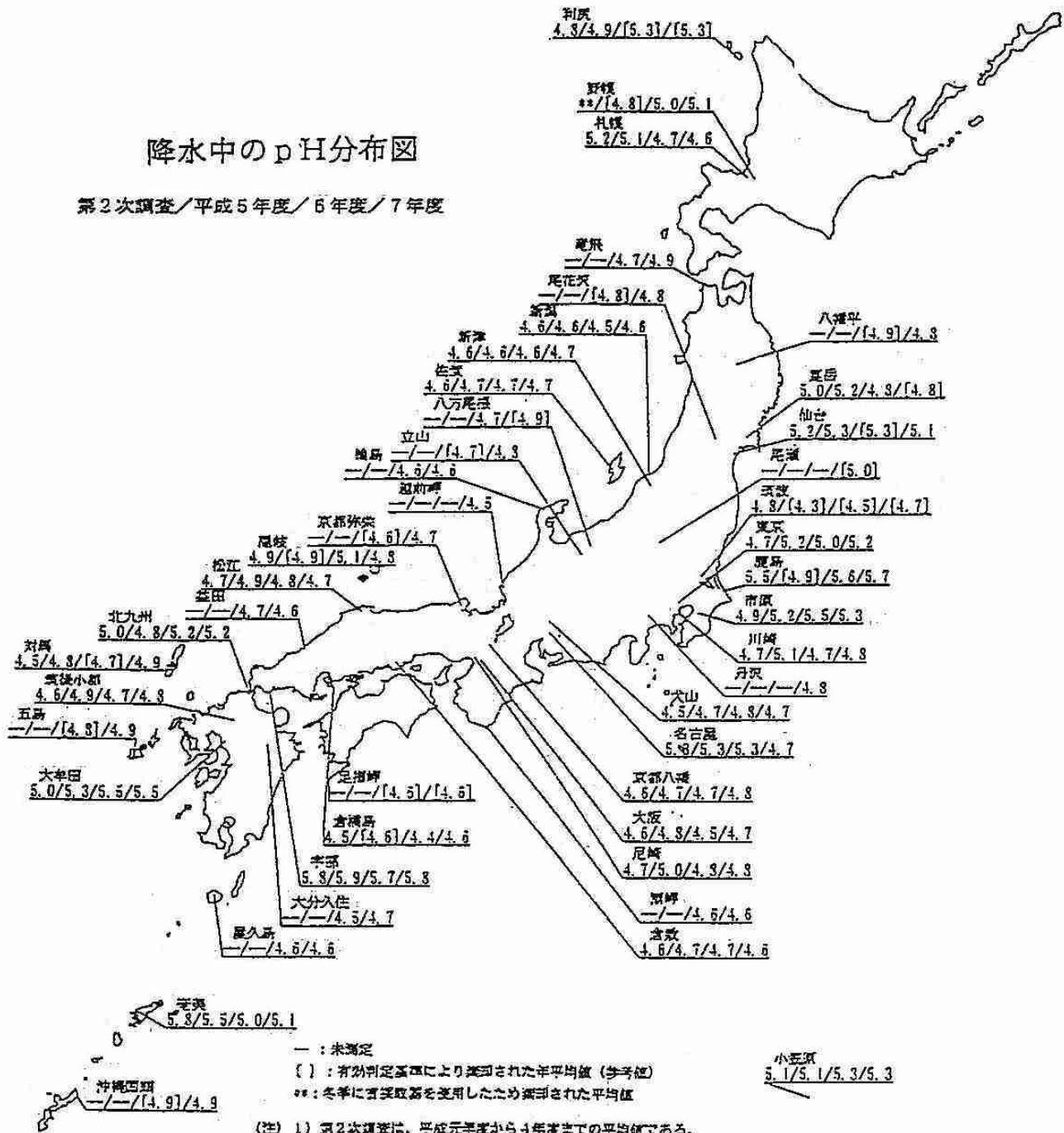
図5 北米での酸性雨の状況  
出典: Pacific Northwest Laboratory.

図4 欧州の酸性雨の状況

図5 北米での酸性雨の状況

# 降水中の pH 分布図

第2次調査/平成5年度/6年度/7年度



- (注) 1) 第2次調査は、平成元年度から4年度までの平均値である。  
 2) 札幌、新潟、夏島、三波は平成5年度と6年度以降では測定年度が異なる。  
 3) 東京は第2次調査と平成5年度以降では測定所位置が異なる。  
 4) 倉橋島は平成5年度と平成6年度以降では測定所位置が異なる。

図6 第3次酸性雨対策調査中間結果



欧州や北米では、いずれもpH5.0以下の範囲で河川や湖沼の酸性化した地域がみられ、pH4.5以下ではより多くなっていることがわかる。一方、日本においてもほとんどの地域でpHは5.0以下を示しており、一部地域では年平均pHが4.5以下を示す場合もみられる。また世界の降水中の $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 濃度及び沈着量の50%値をみると、日本の値はいずれも欧州と北米の中間の値を示している。これらのことから、日本の降水はpH、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 濃度及び沈着量とも欧州や北米と同程度であり、土壌などの緩衝作用が同程度であればいつなんらかの被害が発生してもおかしくない状況にある。一方、土壌の耐酸性に関する実験結果では日本の土壌は酸に対する緩衝能力に優れている土壌が多く、欧州や北米のような土壌、陸水の酸性化は起こりにくいと考えられている。

しかし、前述したようにエネルギー消費量の増加が著しいアジアでは、近い将来、過去の欧州や北米以上の大気汚染物質が排出されると考えられており、日本においてもこれらの影響は避けられない。そのため降水の酸性化が進むと、将来は土壌、陸水の酸性化が出現することが考えられる。なお、現在の降水が降り続いた場合に自然生態系に影響が出るまでには、10~40年程度かかるという報告がある。

北海道の降水のpHを図10、11に示す。北海道では、都市部である札幌圏及び旭川などで平均pHは低い値を示し、全道的には日本海側でpHが低い傾向がみられる。また $\text{SO}_4^{2-}$ は道央部や日本海側の地域で濃度が高く、沈着量が多い傾向がみられ、 $\text{NO}_3^-$ は道央部の地域で濃度が高く、沈着量が多い傾向がみられている。

### 1991~93年度 平均pH

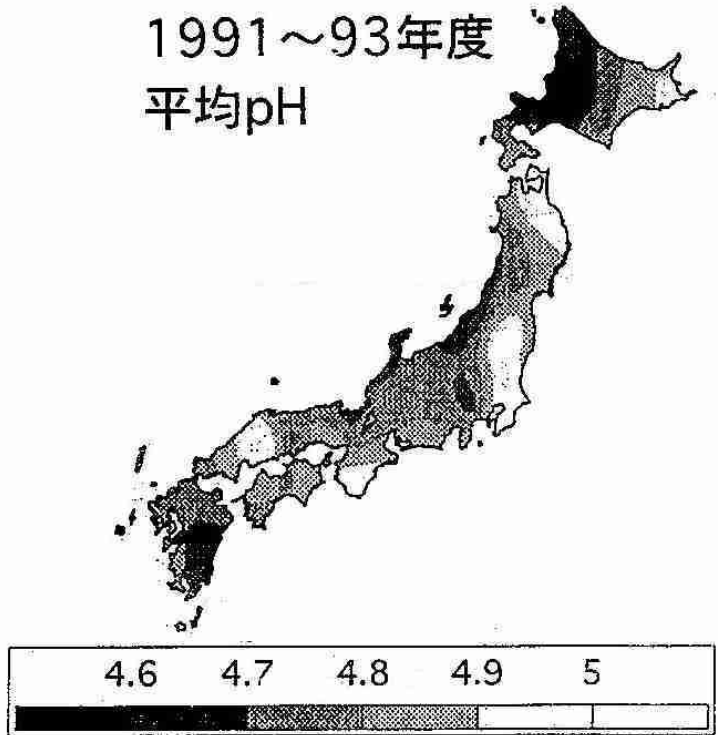


図7. 1991-93年度全国公害研酸性雨合同調査結果

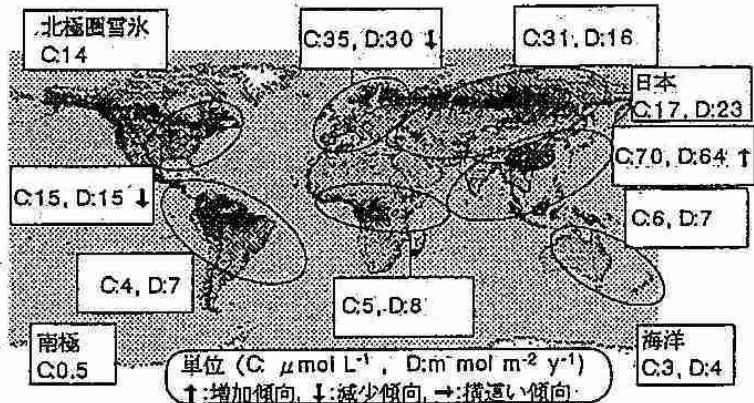


図8 世界の $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度(C)及び沈着量(D)の50%値

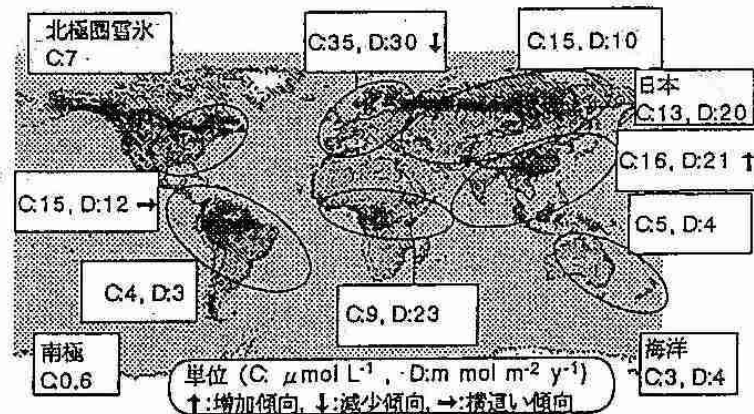


図9 世界の $\text{NO}_3^-$ 濃度(C)及び沈着量(D)の50%値



図10 北海道各地の降水のpH  
(昭和57-昭和63年度)

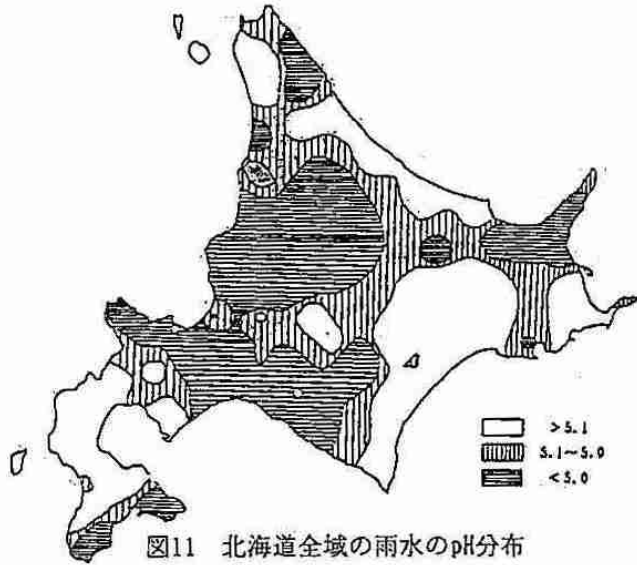


図11 北海道全域の雨水のpH分布  
(1988年8月-10月)

札幌における長期調査結果を図12に示す。1990年前後を境に、pHが低下し、 $H^+$ 沈着量が増加する傾向がみられる。これは、アスファルト粉じんが減少したため、降水中の $nss-Ca^{2+}$ 濃度、沈着量が減少したことに起因する。酸性成分である $nss-SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ は濃度、沈着量とも減少か横這いの傾向にあり、アルカリ成分の減少による降水の酸性化が起こっていると考えられる。この酸性化は冬期に顕著であり、程度や時期の差はあるが、道内の各地域でも同様の傾向がみられている。また北海道と同じくスパイクタイヤを使用していた東北地域においても、同様の雪の酸性化が進んでいる。なお、酸性雨を中和していたアスファルト粉じんには石油精製の残さ等が含まれており、アスファルト粉じん問題が続いていたならば、重金属や化学物質による環境汚染が問題となっていたことが考えられる。この様に、様々な環境問題は複雑に関連していることを示しており、環境問題の対策は難しいことが分かる。

北海道における降水を考える場合、雪の降水量は多く、降水時間は長いので、雨と同程度かそれ以上に雪を重要視しな

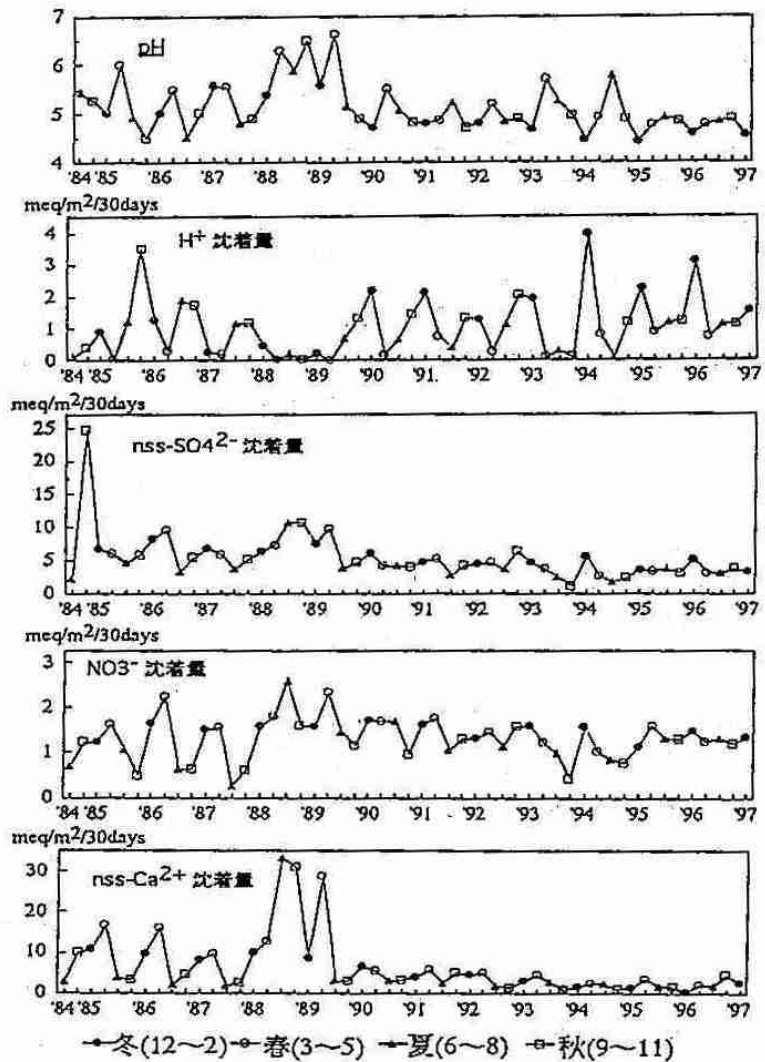


図12 札幌における降水調査結果の長期的変動

ければならない。しかしながら、酸性雪は環境への影響に関して雨と異なる作用をすることはそれほど知られていない。雨は降ると同時に、植物や土壤に接触し、河川や湖に比較的短時間で流出するが、雪は積雪として春先の融雪時まで蓄えられる。この時雪に含まれる酸性成分も同様に積雪中に蓄えられる。東北などでは積雪期間中も成分の溶出が起こるが、北海道では春先の融雪時まで蓄積される。積雪中の成分は融雪率20%で50%の成分が、融雪率50%で80%の成分が流出するという報告がある。そのため融雪初期には濃縮されたpHの低い融雪水が流出する。春先はまだ土壤が凍っている場合も多く、また融雪水は積雪中の氷板を伝って流出することも多いため、土壤の緩衝をあまり受けずに河川や湖沼に作用する。そのため融雪水の陸水生態系に及ぼす影響は、短期的であるが雨の場合に比べて大きいと考えられている。

北海道の積雪のpH分布、及びその長期的変動を図13に示す。積雪水量の多い日本海側の地域でpHが低い傾向が見られる。また前述したようにアスファルト粉じんが減少したため、1988年と比べ、1992年、1996年はpHが低下している。そのため、日本海側などの地域では融雪水による環境への影響が顕著に増大していると考えられる。北海道においては、平成9年度から融雪水の陸水に対する影響について調査研究を始めているところであり、今後の結果が待たれる。

### 6. 将来の酸性雨対策

1992年の地球サミットにおいて採択されたアジェンダ21では、越境大気汚染の観測・評価、抑制のための地域協定の制定・実施、排出物の削減およびそのための戦略の策定が目標として規定された。

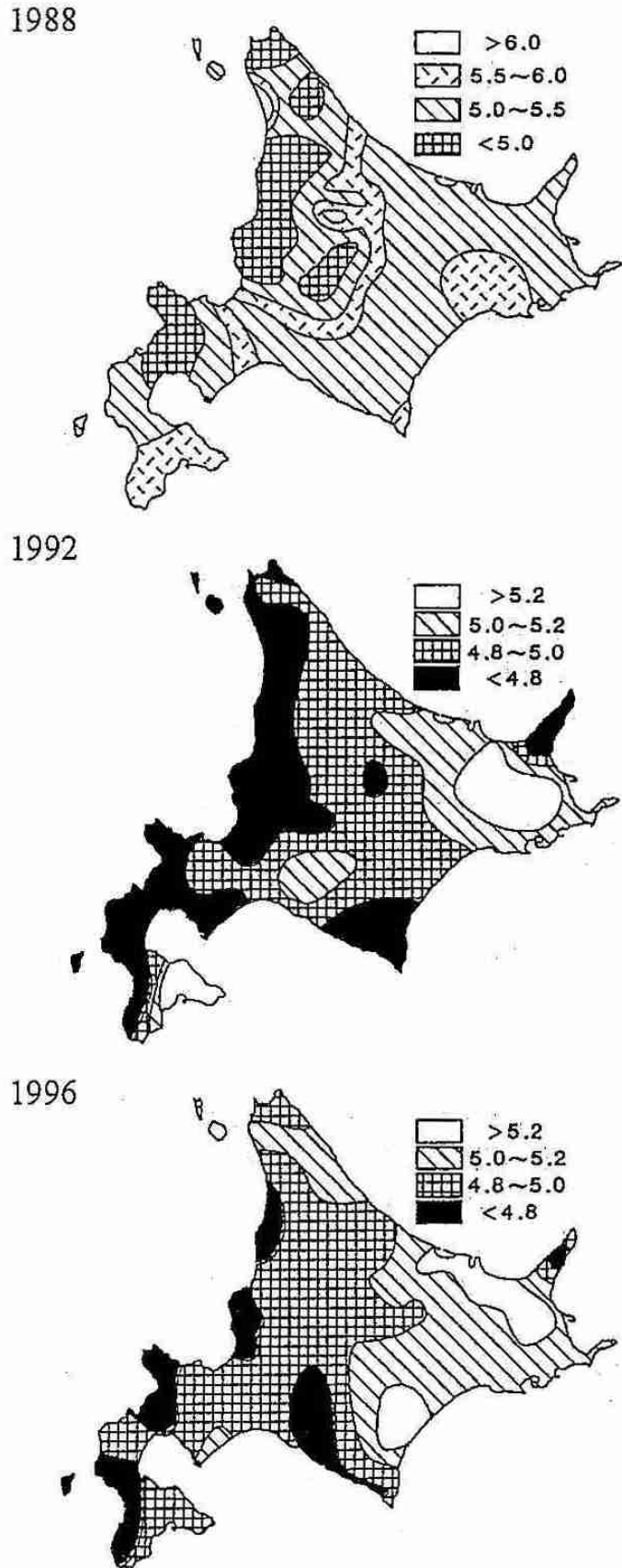


図13 北海道の積雪のpH分布

その後環境庁は、国内では環境の酸性化の未然防止を図るべく、種々のリサーチを行いつつある。また国際的には、欧州（EMEP）、北米のモニタリングネットワーク（NAPAP）に続いて環境の酸性化が顕在化すると懸念されている東アジアにおける酸性雨モニタリングネットワークの構築に先頭に立って取り組んでいる（2000年にはモニタリングが開始される予定である）。また地方公共団体においては国内300か所を越える酸性雨モニタリングを、民間では電力中央研究所が日本、中国及び韓国等で酸性雨モニタリングを行っている。さらに気象庁も世界気象機構とともに日本やアジアの降水化学に対するモニタリングを始めている。このようなリサーチやモニタリング結果により、「どこの国から排出された大気汚染物質が、どこの国のどの地域にどれだけ影響を及ぼすか?」、また「どこで森林の衰退や河川、湖沼の酸性化が進んでいるか?」などの課題が明らかに

されるであろう。さらにこの結果を世界に公表することによって、各国の対策を促し、酸性雨の原因となる大気汚染物質の排出を抑制することが可能となる。

7. おわりに

ここでは降水の酸性化を中心に示したが大気中の酸性化は降水のみでなく、酸性霧（雲）、またガス・エアロゾルによる乾性沈着によっても引き起こされ、その影響は森林、農作物、土壌、陸水のみでなく、建物や文化財、人間の健康、災害にまで及ぶと考えられている。環境の酸性化は局地的な被害が発生する問題であり、北海道のような地方公共団体が対応すべき点が多い。しかし一方では越境大気汚染が原因となる問題でもあり、北海道だけでは解決できない問題である。また前述したアスファルト粉じんと酸性雨の問題のように、酸性雨の問題は他の環境問題とも関連があり（図

14に参照）、地方自治体、国、国際レベルの連携による総合的、科学的な調査研究、対策が必要である。

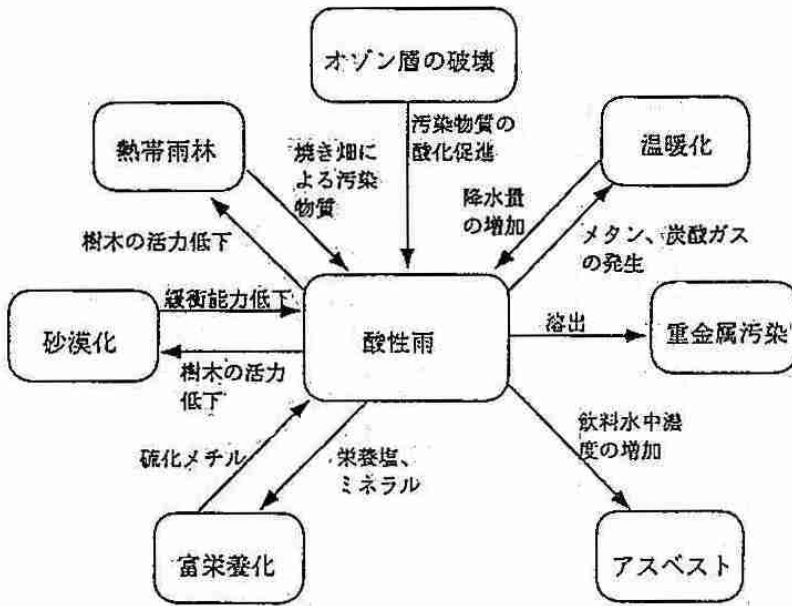


図14 酸性雨を取りまく環境問題

参考図書

1. 石 弘之：「酸性雨」、岩波新書、1992
2. 村野健太郎：「酸性雨と酸性霧」、裳華房、1993
3. 溝口 次夫ら：「酸性雨の科学と対策」丸善、1994



# 4. 大雪発生のメカニズム

北海道大学低温科学研究所 藤 吉 康 志

## 1. はじめに

本夏期大学講座「新しい気象」では、第1回目から昨年の第14回目まで、何らかの形で降雪に結びついた講義がなされてきました。中でも今回の講義に関連の深いものとして、第4回の「ひまわりから見た北海道の冬の気象」、第5回の「雪が降ってくるまで」と「冬の天気」、第6回の「メソ気象学入門」、第12回の「札幌市の降雪予測システム」をあげることができます。そこで今回は、大雪の発生のメカニズムに特に話題を絞ってお話をしたいと思います。それには、記憶に新しい、1995-96年冬季の大雪の例を中心に話を進めるのが適当と考えます。

## 2. 1996年1月8日から9日にかけての大雪の特徴

図1は、1994年12月～1995年3月と1995年12月～1996年3月までの、北大低温研構内の積雪深の時間変化を示したものです。1995年12月18日と1996年1月9日に、積雪深が短時間に大きく増加しています。

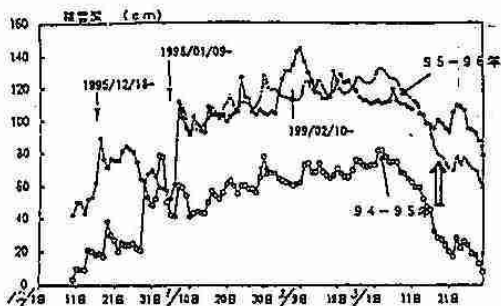


図1 北大低温研構内で測定した1994-95年及び1995-96年の積雪深(cm)の時間変化(木村・福田、1996).

記録によりますと、12月12日の札幌での降雪51cm、

18日の48cmは、観測史上それぞれ2位と4位の降雪でしたが、この雪は早く融けてしまい、年末には前年度並みの積雪深になっています。一方、1月9日の大雪以降は、融雪が少なく降雪がほとんど全て積雪に加わったため、記録的な多雪年となりました。仮に、1995年1月9日の積雪深が1996年1月9日と同じとして、それ以降の積雪深の時間変化(図1の破線)を1996年と比較すると、3月半ば以降の融雪時期を除いて、両者にはほとんど差が見られません。このことから、1月9日を中心として発生した大雪が1995-96年の冬を特徴付けたと言えます。

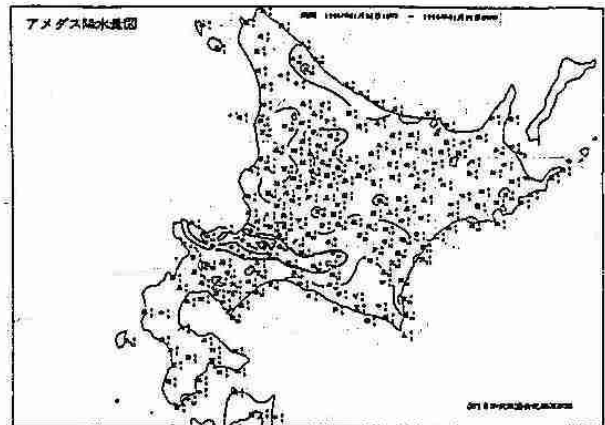


図2 1996年1月8日10時から1996年1月9日9時までの降雪量分布(単位はmm)。太い実線は、降水量が20mm以上の領域を示す(日本気象協会北海道本部提供)。

札幌管区気象台が指摘したこの冬のもう一つの特徴は、札幌、岩見沢、小樽、寿都、苫小牧で冬合計降雪量が平年比で120%を越え、道央を中心として例年以上に降雪の局地性が強かった点が上げられます。先に上げた、1996年1月8～9日につ

ての降雪を例にとり、降雪の局地性を具体的に示したものが図2です。この図は、1月8日10時から1月9日9時までのアメダス観測地点で測られた降水量(降雪量を水で換算したもので単位はmm)の分布です。図から、20mm(降雪深で約40cm)以上の降水域が、積丹半島沿いに札幌を経て日高山脈近くまで、長さ約150km、幅約40kmで分布し、また、この多降雪域がちょうど積丹半島の先端部付近から始まっていることが分かります。

### 3. 大雪をもたらす雪雲

北海道の日本海側では、①季節風時の降雪、②北海道西岸小低気圧による降雪、③低気圧後面へ流れ込む寒気に伴う降雪によって大雪をもたらされることが知られています。①の季節風時に発生する筋雲の場合には、個々の雪雲はほぼ高度850hPa(高さ約1500m)の風に乗って移動しますので、筋雲の通り道にあたった地域では上空の風向が変わらない限り雪が降り続きます。その場合には、筋雲の幅(約10km)程度の細長い降雪域が形成されます。札幌では高度850hPaの風向が310°~340°の時に降雪が常時の2倍以上降ることが統計的に示されています。②の西岸小低気圧は、札幌に大雪をもたらす擾乱として有名で、冬型の気圧配置が緩んだときに発生し、ほとんど無風状態で音も無く短時間に大量の降雪を局地的にもたらします。筋雲や、西岸小低気圧の研究は長く、学問的にも大変興味ある現象ですので、別の機会にまとめてお話しさせて頂きたいと思えます。

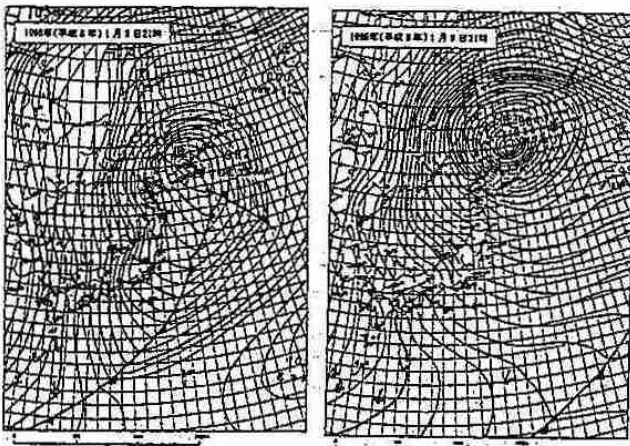


図3 1996年1月8日21時と1月9日21時の地上天気図

さて、問題の1月8~9日にかけての大雪は、低気圧がオホーツク海上で急速に発達した後停滞したこと、それに伴う北からの寒気の長時間にわたる流入によって、従って③の時期に発生した雪雲によってもたらされました。図3は、1月8日21時と1月9日21時の地上天気図を示したのですが、確かに8日から9日朝にかけて北海道南岸を通過した低気圧が、オホーツク海上で急速に発達して停滞しています。このような低気圧の急速な発達や停滞が生ずる理由は、大変重要ですが、むづかしい説明が必要ですので、別の講義での解説をご覧下さい(例えば、第14回「新しい天気予報と今年の5月の低温」でキーワードはブロックングです)。図3を用いてお伝えしたいことは、この天気図程度の水平分解能では、北海道全域でほぼ同様な大気状態にあり、実際に発生した局地的大雪地帯を特定することは困難であるという点です。それではどのようなデータを用いれば、図2に示されたような局地的大雪地帯を捉えることが可能でしょうか。

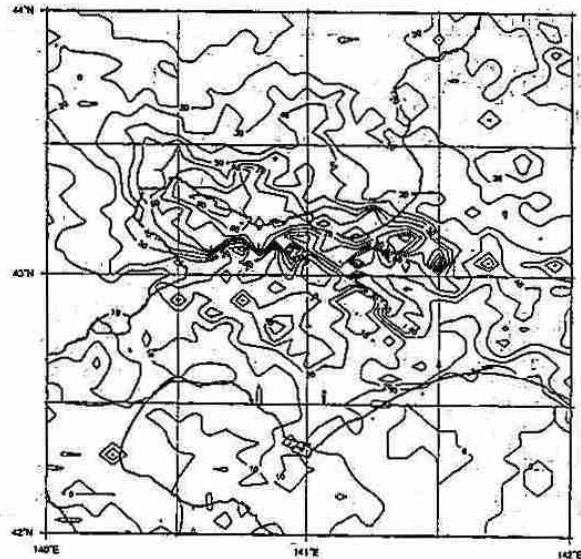


図4 気象庁のレーダーから求めた、1996年1月8日00時から1月9日24時までの総降雪量(単位はcm)(日本気象協会北海道本部提供)。

それには、気象庁、建設省、札幌市、そして北海道大学等が所有しているレーダーが最適であると言えます。ただし、これらのレーダーはそれぞ

れの設置目的によって性能や設置場所が異なっています。図4に、気象庁のレーダーを用いて測られた、1月8日00時から1月9日24時までの総降雪量(数字は雪の深さを意味し単位はcm)の水平分布を示します。図2に示した陸上での降水量分布にほぼ対応していることが分ると同時に、それ以外に、石狩湾内部でかつ積丹半島沿いのみ降雪が集中していたことも分かります。それでは、何故この地域にのみ降雪が集中したのでしょうか。それを明らかにするためには、雪雲のレーダーエコーの構造をもう少し細かく見る必要があります。

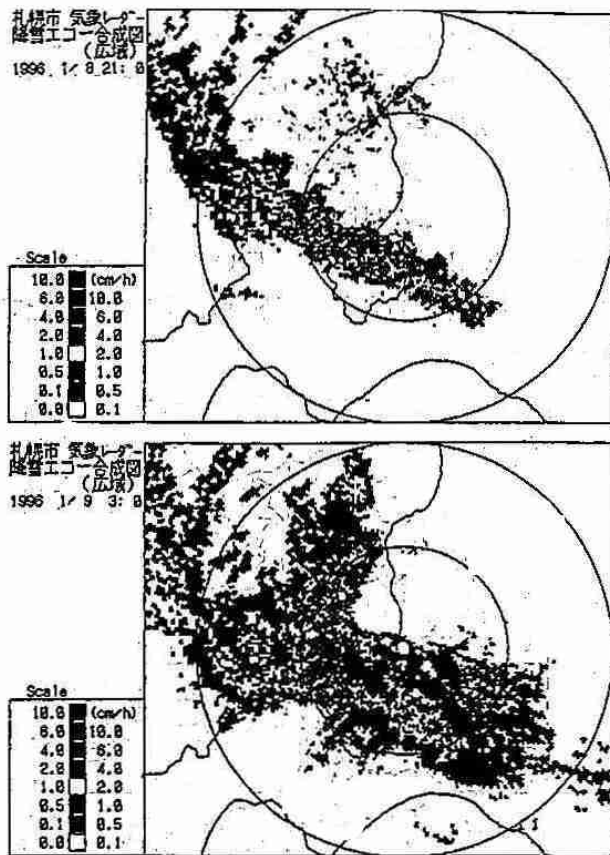


図5 札幌市の気象レーダーが捉えた、1996年1月8日21時と1月9日3時の降雪エコー。

図5は、札幌市の気象レーダーが捉えた、大雪が始まった1月8日21時と、最盛期の1月9日3時の降雪エコーで、黒く映っている箇所が降雪域です。これが大雪をもたらした雪雲の姿です。一見すると、石狩湾から石狩平野にかけて雪雲が進入していますので、今回の大雪は、低気圧がブロッケン

グによって停滞し、小樽や札幌がたまたま長時間にわたって雪雲の通り道となったために発生したように見えます。確かに、石狩湾から苫小牧にかけての石狩低地帯は風が抜けやすく、また、冬季の季節風時に出現する典型的な雪雲である筋状雲が石狩湾に吸い込まれるように集まりやすいという観測例もありますが、それですと、積丹半島の先端付近からの降雪の増加がうまく説明できませんし、降雪が必ずしも石狩低地帯に沿って分布していないことも説明できません。

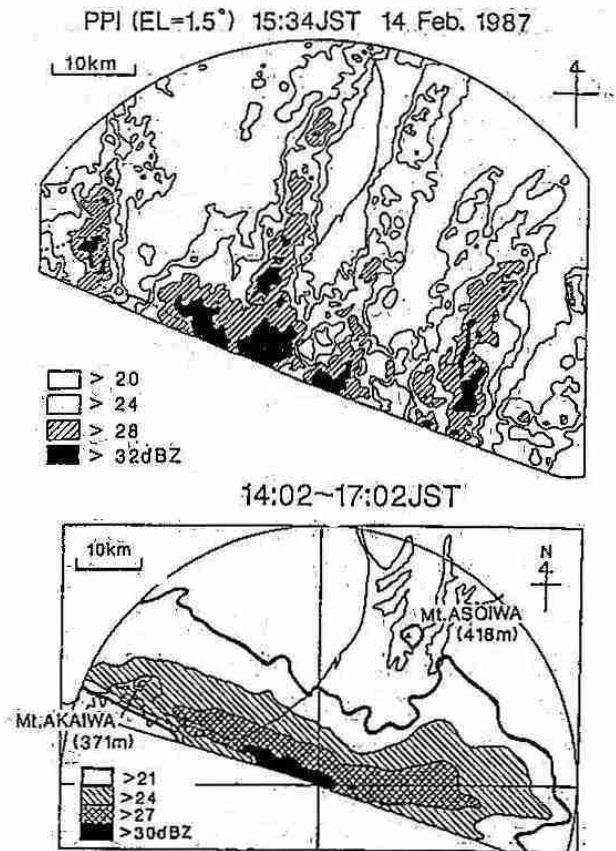


図6 北大低温研のレーダーが捉えた直交型エコー(1987年2月14日15時34分)と、2月14日14時から17時までの平均エコー強度。

図5をもう一度見ると、海上に楕形のような形をしたエコーが存在していることが分かります。この楕の歯の部分に対応したエコーは、エコーが移動する方向(ここでは北西から南東方向)とエコーの伸長方向(ここでは北東から南西方向)とがちょうど直交しているため、直交型エコーと呼ば



れています。これに対して、一般に良く知られている季節風時の筋雲のレーダーエコーは、移動方向と伸長方向が一致しているため平行型エコーと呼ばれています。直交型エコーは、北東から南西に伸びていますので、このエコーが次々に石狩平野に上陸した時には、平行型エコーと異なって、幅広い降雪域になるはずですが、しかし実際には、図2と図4に示されたように、直交型エコーが現れると積丹半島に沿ってバンド状に降雪量が多くなり、一見すると積丹半島沿いに平行型エコーが進入したかのような降雪分布を示します。このような例はこれまでも度々報告されています。例えば、図6は、北大低温研のレーダーで測定した1987年2月14日14時から17時までの平均エコー強度(ほぼこの期間の平均降雪量に比例します)と、この降雪をもたらした直交型エコーです。何れも、今回のケースと全く同様に、積丹半島から手稲山の斜面に沿って降雪量が多くなっていることが分かります。

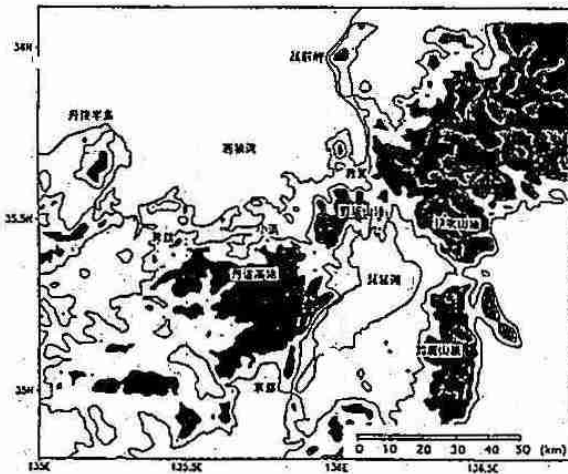


図7 若狭湾周辺の地形図。

#### 4. 大雪の形成機構

そこで次に、雪雲が積丹半島に沿って発達した理由について考えます。そのためには、海上の雪雲そして積丹半島上空の3次元的な風の分布を知る必要があります。このような風の3次元分布を捉えるのに有力な武器が、ドップラーレーダーです。原理はスピードガンと同じで、レーダーが自分で出した電波の周波数と標的に当たって返って

きた電波の周波数の違いから、標的の動く速さを測定します。気象用ドップラーレーダーでは、標的は雪粒子や雨粒です。ドップラーレーダーを使うと、短時間に(約10分)広い範囲の風を細かい水平間隔(~1km)で測定することができます。ここでドップラーレーダーによって測定されたデータを用いて、今回のケースをさらに解析したいところですが、残念ながらこの日は観測が行われておりませんでした。そこで、他の場所で行われた観測結果を用いて解析した結果を以下にお示します。

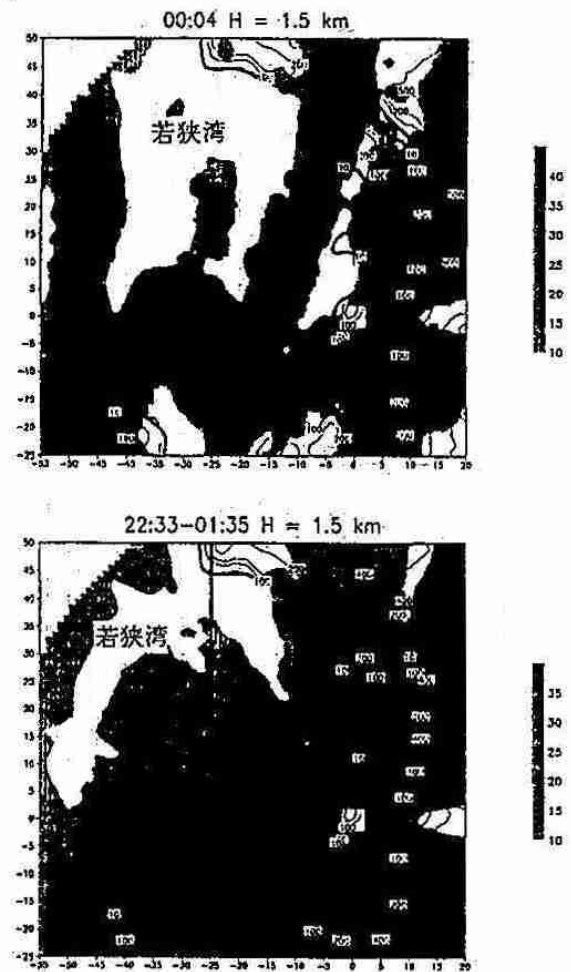


図8 名古屋大学大気水圏科学研究所のドップラーレーダーで観測された、1995年1月14日00時04分、高度1.5kmでの直交型エコーの水平断面図(上)と1月13日22時33分から1月14日1時35分までの平均エコー強度の水平分布(下)。図には等高線も示してある。図は、丹後半島から小浜に至る海岸線が横軸に平行になるように回転させてある。



観測は、地形的に石狩湾に良く似ており、直交型エコーも頻繁に現れる若狭湾周辺(図7)で行いました。図8上は、1995年1月13日19時から14日8時にかけて出現した直交型エコー(00時04分)を、図8下は22時33分から01時35分までの平均的な降雪エコーの強さの高さ1.5kmの水平分布を示したものです。図8下を見て分かるように、図の下側の丹後半島に沿ってエコー強度、すなわち降雪量

直交型エコーが形成される条件です)。ここで注目していただきたいことは、下層では風が相対的に丹後半島に向かっていることと、それとは逆に上層では丹後半島から遠去かる向きに風が吹いているということです。下層の風は、海岸沿いの山にぶつかるため、山の斜面に沿って強い上昇流を形成し、従ってそこでは雲が発達します。このことは、図8と図9の太い実線に沿った鉛直断面内のエコーと風の分布を見ると良くわかります(図10)。すなわち、高さ2km以下の下層で、図の右(若狭湾)方向から左(丹後半島)方向に向かう気流は、海岸近くで上昇し、そこではレーダーエコーも発達しています。海岸近くで上昇した気流は、高さ2.5kmより上では逆に若狭湾に向かう下向き(すなわち下降流)の流れになっています。

以上の観測事実を基にしますと、以下のようなプロセスで丹後半島に沿って強い降雪域が形成されたものと考えられます。すなわち、海から水蒸気と熱をもらった下層の気流は、半島にぶつかることによって強い上昇流を形成し、半島沿いに発達した雲を形成します。アラレなどの落下速度が速い雪粒子は半島沿いに集中して落下しますが、落下速度の遅い雪粒子は、上空に運ばれ、上空の風によって半島から若狭湾の方に流されながら落下します。もちろん、重くて大きい雪粒子ほど半島近くに落下します。この間、雪雲は雪を降らせながら下層と上層の中間の風に乗って内陸に入り込みますので、結果として或る幅のバンド状の降雪域が、半島に沿って形成されることになります。もしこれが、下層と上層で風の向きが同じ平行型の筋雲ならば、仮に半島沿いに強い上昇流を形成しても、作られた雪粒子はそのまま山を越えて行き、筋雲に沿った降雪域を形成することになります。

5. おわりに

このように、直交型エコーが出現する時には、半島沿いに強い上昇流が形成され、発達した雪雲内の大量の雪粒子が効率良く半島に沿って内陸に運ばれ、大雪がもたらされます。1996年1月8日か

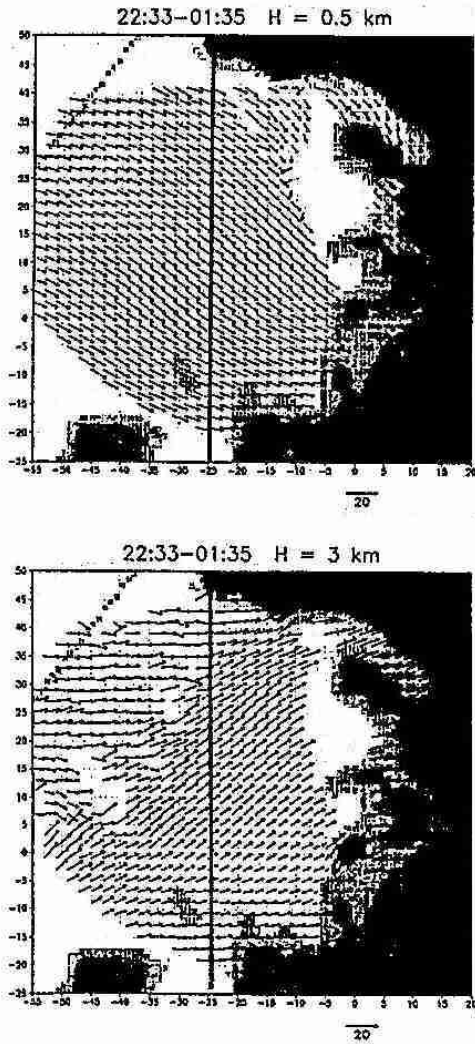


図9 図8と同じ範囲での、1月13日22時33分から1月14日1時35分までの、高緯度0.5km(上)と高度3km(下)の水平風の分布。

が多くなっています。図9は、ドップラーレーダーで測定した、高度0.5kmと3kmの時間平均した水平風の分布を示したもので、下層と上層の風向が大きく異なっていることが分かります(これは、

ら9日にかけての大雪も、若狭湾での事例とほぼ同じプロセスで発生したと考えられます。従って、今回のような大雪を一刻も早く予測するためには、風、特に海上の3次元的な分布を捉える観測体制

を整えること、そしてそのデータを基にして地形との相互作用を正確に予測する数値モデルを開発することが必要です。

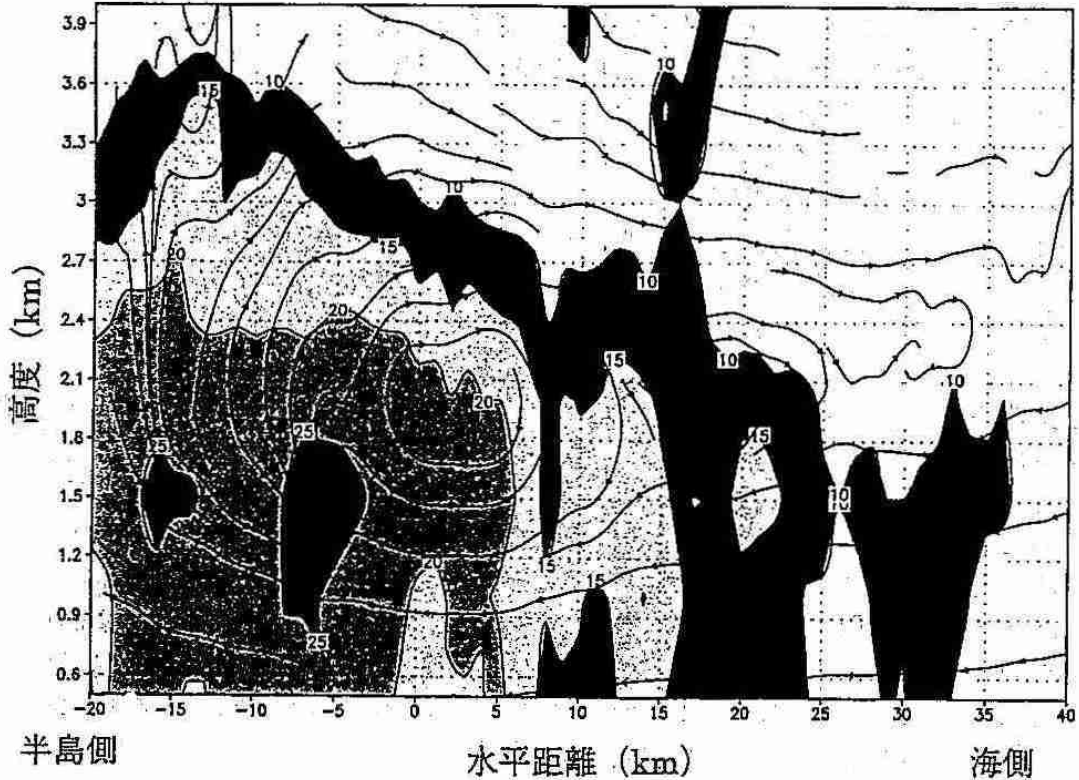


図10 図8及び図9の太い実線に沿った鉛直断面内の、1月13日22時33分から1月14日1時35分までの平均エコー強度と風の流れ(流線)。図の左側が半島で、右側が若狭湾。

参考図書

- 気象の教室1巻～6巻：東京大学出版会基礎雪氷学講座 II「降雪現象と積雪現象」(菊地勝弘、大畑哲夫、東浦将夫著)：古今書院。
- 地球異常(山本龍三郎著)：集英社。
- 雪と氷の世界(若濱五郎著)：東海大学出版会。

— 気象講演会雑感 —

# 平成8年度北海道支部気象講演会報告

講演担当理事 大西晴夫 (札幌管区气象台)

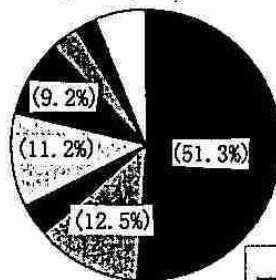
平成8年度の気象講演会は、以下の要領で行われた。

- 日 時：平成8年10月18日（金）13:00～16:40
  - 会 場：滝川市役所 8階大会議室
  - 主 催：日本気象学会北海道支部
  - 共 催：滝川市，滝川市教育委員会
  - 後 援：NHK札幌放送局，北海道新聞社滝川支局，  
日本気象協会北海道本部，札幌管区气象台
- 講演の概要については、別稿の講演要旨を参照願いたい。

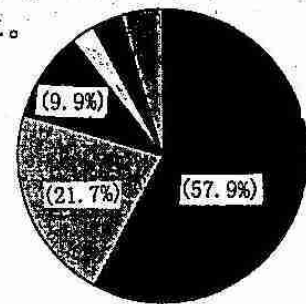
札幌以外の道内の都市で開催される支部気象講演会の歴史を遡ると、昭和42年（1967年）に、雪氷学会との共催で「北洋および北海道周辺の海上気象と雪氷に関する談話会」が函館で開催されたのが最初のような。以後、途中で10年間ほどの中断はあったものの、気象学会の全国大会が開かれる年を除いて、毎年1回のペースで継続されている。これまでは、気象庁の官署や、気象協会の組織がある町で開かれてきたため、その開催準備から当日の運営に至るまで、これらの地元の関係機関の人たちの労力に負うところが大きかったことが推測される。今回、初めての試みとして開催した滝川市には、現在は気象庁の官署も気象協会の組織もないため、講演会の準備や事前PR、会場設営などには滝川市役所に大変お世話になり、また、札幌の学会事務局の関係者も、例年になく、時間と労力を使うこととなった。

さて、講演会当日は朝から青空が広がる天気、終了間際になにか雨となったものの、まずまずの講演会日和であった。滝川市役所は新築後間もない立派な建物で、大会議室も大きな部屋であったため、部屋の大きさに見合った数の聴衆に来てもらえるかどうか心配もあったが、期待以上の152名の参加があり、成功裏に終了できた。当日の参加者の年齢別、職業別の内訳は以下のとおりであった。

参加者の最大勢力が10代の学生であったのは、滝川高校の理数科の生徒が授業の一環として参加したため、いつもの講演会とはまた少し違う雰囲気でもあった。講演担当の佐竹正治幹事（日本気象協会）の司会で話していただいた4つの講演は、いずれもカラフルなOHPやスライドを駆使したもので、好奇心やロマンをかき立てられるとともに、視覚的にも楽しいものであった。



年齢別



職業別

- 10歳代
- ▨ 20歳代
- 30歳代
- 40歳代
- 50歳代
- ▨ 60歳代
- 70歳以上
- 不明

- 学生
- ▨ 公務員
- 公共企業
- 法人
- その他
- ▨ 不明

## 最新レーダーが明かす降雪のしくみ

上田 博 (北海道大学大学院理学研究科)

### 1. はじめに

「大雪は困りもの」という雪に対するマイナスのイメージは、除雪対策が進につれて徐々に解けはじめ、「ダムに水をもたらしもの」とか「ウィンタースポーツのために欠かすことのできないもの」というように、雪に対するプラスのイメージが強まっている。雪に対するプラスのイメージをより確かなものにし、雪が降ることを生活を生活に活かしていくためには「降雪のしくみ」についての理解を深めることも役にたつ。しかし、「いつ」、「どこで」、「どのように」雪が降るのかについての科学的な解明はこれからの課題として多くの問題が残されている。そこで、これまでの「降雪のしくみ」についての理解と最新の気象レーダーを用いた観測結果を紹介し、降雪現象の不思議に皆さんと共に迫ってみたい。

### 2. 雪の降りかた

1995年12月から1996年1月にかけて道央圏で記録的な大雪が観測された(金村・菊地, 1996)。しかし、札幌管区気象台の積雪速報等の資料をみると滝川周辺はそれほどの積雪深にはなっていない。たとえば、1995年12月20日の積雪深をみると、小樽63cm、札幌72cmに対して滝川は14cmであった。このように滝川の積雪深の値が小さい理由は、滝川市の西側にある1,000m以上の山地が雪雲をもたらす北西の季節風の進入を防いでいることが考えられる。このような問題を考える前に、これまでに知られている降雪のしくみについてふりかえてみたい。降雪に関係する多くの普及書(中谷, 1938; 札幌市教育委員会, 1983, 1984, 1995; 柏原, 1993; 若濱, 1995; 花房, 1990)があるので、興味のある方には一読をお薦めしたい。

テレビでもすっかりおなじみの、気象衛星「ひまわり」の雲(赤外)画像でみられるように、冬の北西の季節風が吹くときに、筋状や帯状の雲が日本海上に発生し、北海道西岸に強い降雪をもたらされることが多い。「ひまわり」の雲画像は毎時のデータが得られ天気予報に大きな力になっているが、雪雲の詳しい構造を見るためには「ひまわり」の約十倍の分解能をもつNOAA衛星の赤外画像が良い。一例として、1992年1月24日03時43分のNOAA衛星の雲分布を図1に示す。北海道西岸の沖に帯状の雲が見える。この雲が進入する場所には大雪をもたらされる。この帯状の雲の北緯44度の東西断面とそれより北の部分の雲の高度分布を、雲の輝度温度を高さに変換して示したのが図2である。帯状の雲の幅は約50kmあり、雲の高さは5kmに達している。夏の雷雲と比べると背の高さは半分以下であるが、霰や強い降雪をもたらす部分がこの雲の下に並んでいる。帯状の雲より細い、筋状の雲が何本も帯状の雲に合流している。この筋状の雲の部分でも狭い範囲に強い降雪域が連なっている。このような雲の中で雪を降らせる個々の雲は、海上にある間は海面からふんだんに供給される水蒸気もらって雪雲に成長し、1時間程度の寿命で次々に入れ替わっている。しかし、山を越えた内陸部では、人工衛星の赤外画像上の雪面と雲の区別がつかないので、雲画像だけでは降雪域を識別することは困難である。

帯状や筋状の雪雲が進入しやすい札幌や岩見沢での降雪粒子の特徴については、地上観測(Harimaya and Kanemura, 1995)やレーダー観測などでかなり明かになってきた。「海上で発達した雪雲が上陸すると、最初に海岸付近で霰を落とし、少し内陸にはいる間に濃密運粒付きの雪片を降らせ、さらに内陸に入ると強い降りはなくなり、比較的雲粒の少ない雪結晶になる」というのが平均的な降雪のイメージになりつつある。しかし、滝川市のように高い山を越えた風下の内陸での降雪の仕組みについてはまだ分からないことが多い。



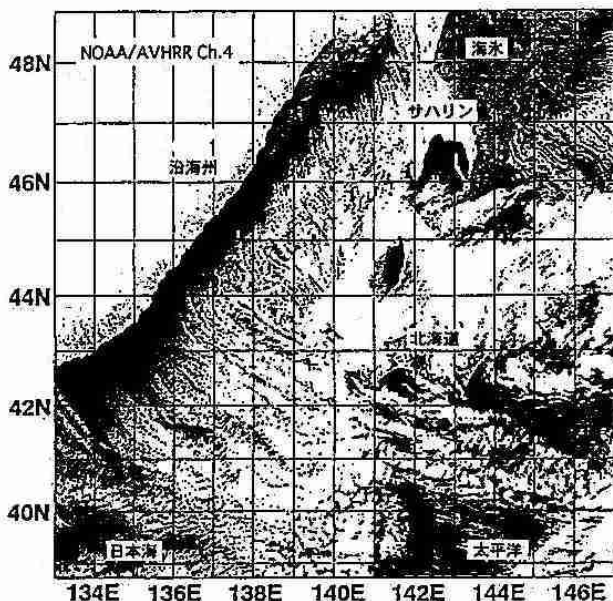


図1 1992年1月24日03時43分のNOAA衛星の赤外画像。白い部分が背の高い雲を示す。

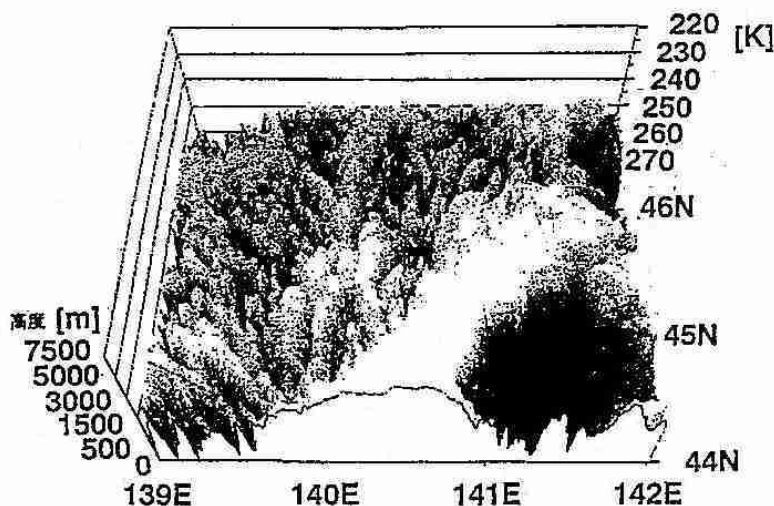


図2 1992年1月24日03時43分のNOAA衛星の赤外画像の高度分布の立体表示。切り口は北緯44度の断面を示す。

### 3. 気象レーダー

どこでどの程度の降雪があるかを常時監視するためには気象レーダーが最も有効な手段であることは広く知られるようになった。気象レーダーは、波長 3.2 cm や 5.6 cm の電波をアンテナから放射して、雨粒や降雪粒子から反射して返ってくる電波を測定して、降雨や降雪の位置と強さを知る装置である。札幌市周辺には、札幌管区気象台のレーダーが小樽市の毛無山に、北海道開発局のレーダーがピンネシリ山に、札幌市のレーダーが当別町の丘陵に設置されている。それぞれ、天気予報、河川・道路管理、除雪対策情報用にと、異なる目的に応じた独自の観測形態で運用されている。部分的には、テレビで気象庁から出されるレーダーアメダス合成画像をみることがある。もう少し雪雲についての研究が進むと、各機関のレーダー情報を統合してより有効な降雪監視・予測システムが構築されるようになるかもしれない。その鍵を握るのが大学におけるレーダーを用いた降雪の研究である。

北海道大学には、大学院理学研究科に偏波ドップラーレーダーが、低温科学研究所にはドップラーレーダーがあり、雪雲の研究に利用されている。これらのレーダーを用いて、大掛かりな観測が石狩湾周辺で行われた(菊地, 1993)。一例として示した雪雲のレーダーエコー(図3)の海上部分を見ると、強いエコーの部分、すなわち、強い降雪域は幅が10 km程度の筋状に見える。北西から南東に延びるこのエコーは北西風に平行に南東に移動す

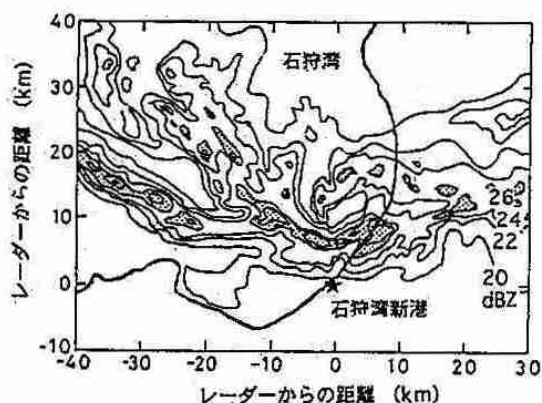


図3 1992年1月24日03時40分の石狩湾のレーダーエコー。(北海道大学大学院理学研究科レーダー)

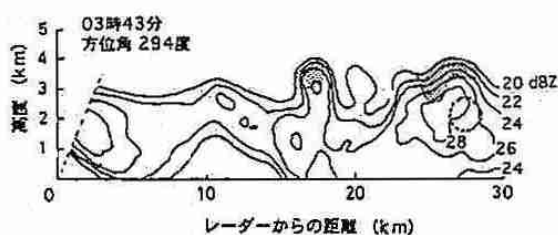


図4 1992年1月24日03時43分のレーダーエコーの鉛直断面。コンターの内側が強いエコーの部分を示す。偏波レーダーであられの存在が推定される部分を破線でかこった。偏平な雪の結晶又は雪片の存在が推定される部分を影で示した。

る。エコーの通り道には大きな降雪をもたらしたが、このエコーが進入しなかった札幌市の南側には大きな降雪はもたらさなかった。筋状のエコーの北側に少し太いエコーが見える。太いエコーと筋状のエコーの交わる部分に強いエコーが見える。エコーの強い部分のエコーの鉛直断面を示すと図4のようになっている。強いレーダーエコーの付近に偏波モードの観測から推定された霰の位置を太い破線で示してある。同じく偏波モードの観測から推定された偏平な雪片の位置を影で示した。一方、海岸付近では渦をまいた構造がエコーに見られ、渦巻きの南側に強いエコーが見られる。エコーが通過した場所にだけ降雪が観測される。

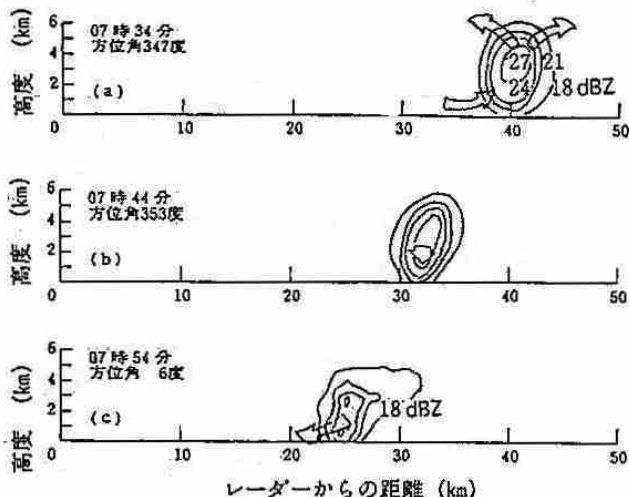


図5 1989年1月28日の、7時34分、7時45分と7時54分の、北海道大学構内から石狩湾の方向を見たレーダーエコーの鉛直断面。コンターの内側が強いエコーの部分を示す。矢印はドップラーレーダーから求めた鉛直断面内の気流を示す。

#### 4. 最近の降雪の研究

これまでの降雪による災害は、強い降雪が持続することによる大雪が中心であった。しかし、最近の高速道路の発達により、今迄予想もしなかったような降雪災害が発生するようになった。1992年3月17日の道央自動車道における自動車の衝突事故はまだ記憶に新しい。事故現場付近に極く短時間だけ強い降雪があり、極端な視程の悪化があったことが事故に関与していたと考えられている。その後も、瞬間的な強い降雪による視程障害が原因ではないかと考えられる事故が起きている。

このような現象の詳しいメカニズムはまだわかっていないが、発達した雪雲から強い降雪を伴う数kmの範囲に限定された下降流があることが原因として考えられる。そのような現象をドップラーレーダーでとらえたのが図5である。海上で発達中の孤立した雪雲の海拔高度2km付近に強い反射強度がみられ、その部分は上昇流で支えられている(図5a)。10分後の図5bでは強いエコーの部分は1km以下の地表付近にまで降りており、その部分には10 m/s以上の強い風が吹いている。この部分は強い降雪を伴う吹雪になっており、視程が非常に悪くなっていると考えられる。

レーダーエコーの立体構造をモニターし、風も同時にモニターするようにすれば、限られた場所での瞬間的な強風を伴う強い降雪の発生も直前に予測できるようになると考えられる。関西空港や成田空港には発達した積乱雲からの強風の発生の監視の為に気象用ドップラーレーダーの導入が進められている。雪雲の監視にも同様の観測システムが役に立つはずである。最近、北海道大学、北海道開発局、科学技術庁の研究者の協力で吹雪や局地的な強い降雪の発生メカニズムの研究が始められた。この研究中の1995年と1996年の1月には詳細な雪雲の3次元構造とその発達過程が明らかにされた。気流系と雪雲の発達の様子を図6と図7に示した。

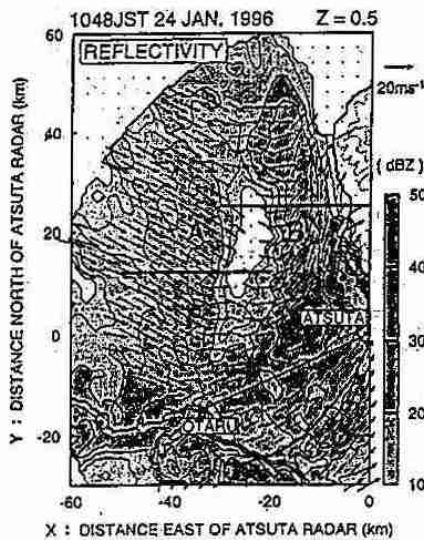


図6 1996年1月24日10時48分の高度0.5 kmにおけるレーダーエコーと水平風分布。2本の太い直線は図7の鉛直断面の位置を示す。

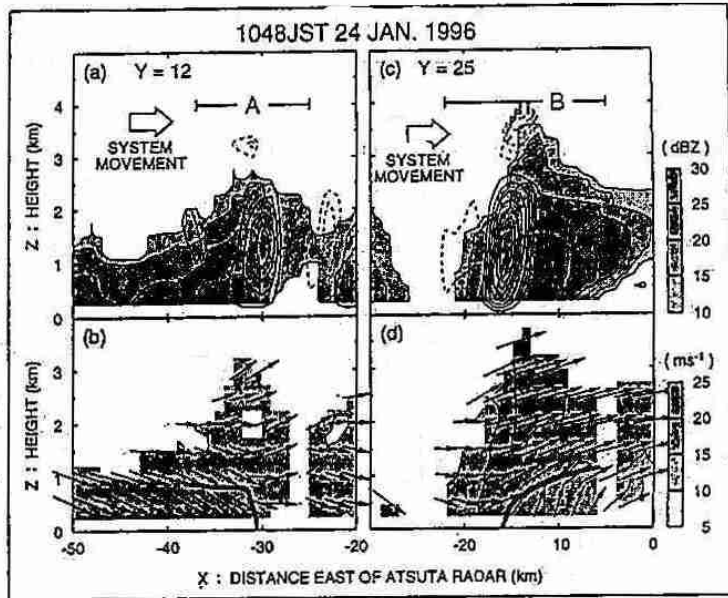


図7 (a)と(c)：鉛直断面内における反射強度(ハッチ)と鉛直流(コンター)の分布。実線で上昇流を、破線で下降流を示し、コンター間隔は $0.5 \text{ ms}^{-1}$ である。(b)と(d)：鉛直断面内における水平風の鉛直分布。ハッチは風速を示す。また、太線は下層のシアラインの位置を示す。

### 5. まとめ

豪雪をもたらす雪雲の構造から局地的な強い降雪による視程障害の解明までに使用される、最新の気象レーダー、特にドップラーレーダーや偏波レーダーの威力について述べた。しかし、これまで海岸部にレーダーを設置して海上から平野部の降雪の観測を中心に行ってきたので、山地や山地を越えた平野部での降雪現象については研究されていない問題が多い。降雪に関する、その地域独特の問題を整理して新たな問題の解明を目指したい。

### 参考文献

柏原辰吉, 1993: 雪を知る. 北海道新聞社, 1-206.  
 金村直俊・菊地勝弘, 1996: 1995/1996年の札幌付近の大雪, 雪氷, 58, 157-160.  
 菊地勝弘, 1993: 都市の豪雪災害の予測と軽減・防除に関する研究. 文部省科学研究費重点領域研究「自然災害の予測と防災力」研究成果, 1-609.  
 札幌市教育委員会, 1983: 札幌と水, 札幌文庫24, 1-319.  
 札幌市教育委員会, 1984: 気象事典, 札幌文庫28, 1-317.  
 札幌市教育委員会, 1995: 札幌の冬, 札幌文庫75, 1-317.  
 中谷宇吉郎, 1938: 雪, 岩波新書, 1-165.  
 Harimaya, T. and N. Kanemura, 1995: Comparison of the riming growth of snow particles between coastal and inland areas. J. Meteor. Soc. Japan, 73, 25-36.  
 花房龍男, 1990: 北の気象, 北海道新聞社, 1-269.  
 若濱五郎, 1995: 雪と氷の世界. 東海大学出版, 1-157.

# グライダーと気象

～雲たちの千の顔 青空の千の色～

丸伊 満  
(滝川市教育委員会スカイスポーツ課)

## 1. はじめに

グライダーによる飛行と、動力機つまり飛行機やヘリコプター等による飛行とでは、気象に対する考え方に根本的な違いがある。

動力をもたないグライダーにとっては、気象とは飛行のエネルギーを獲得するために必要不可欠な、そして最大限に活用すべき対象である。一方動力機にとっては、飛行を妨げる悪天候についての知識が主たる興味対象で、飛行に適か不適かを判断できればそれで十分といえる。つまり、グライダーパイロットには、他の航空機とは異質な、気流の動向についての詳細な知識や、微細な大気現象に対する観察力が要求される。このようなグライダーが持つ本質的な特性から、グライダーと気象とは、グライダー誕生以来現代に至るまで密接な関係が続いている。

ここではまず、グライダーと気象現象との関わりについて触れ、続いて近年、解明がすすんでいる北海道における上昇風の発生機構について紹介したい。

## 2. グライダーの発達史と上昇風の発見

グライダー発達の歴史は、そのまま種々な上昇風の発見・検証の歴史でもある。黎明期である1920年代当初には、グライダーが利用できる上昇風は斜面上昇風 (slope lift) ただ一種類で、可能な飛行距離も数kmにすぎなかった。また、グライダーの性能面でも滑空比10:1…1m降下する毎に10m前進できる能力…でしかなかった。しかし60年以上を経た現代では、利用可能な上昇風は大きく分けて10種類以上、さらに細かく分類を試みるなら恐らく100種類以上が認識可能であり、向上した滑空性能…滑空比40～60:1…さらに上昇風利用についてのノウハウの集積と相まって、距離300～500kmの飛行は世界各地で日常化

| NO | 名称                             | 可能飛行距離(km)                | 可能飛行高度(m) | 代表的エリア               | 北海道の現状                   |
|----|--------------------------------|---------------------------|-----------|----------------------|--------------------------|
| 1  | thermal<br>熱上昇風                | 1250+                     | 5000+     | オーストラリア<br>アメリカ西部    | 内陸部を中心として<br>500km、4000m |
| 2  | mountain lee wave<br>山岳波       | 2000+                     | 16000+    | ニュージーランド<br>アメリカ西部   | 7300m<br>日高山脈起因          |
| 3  | slope lift<br>斜面上昇風            | 1600+                     | 5000+     | アメリカ東部<br>(7/177742) | 大雪・十勝山脈西斜面               |
| 4  | convergence<br>コンバージェンス        | 1250+                     | 5000+     | 南アフリカ<br>スペイン        | 755km、3000m              |
| 5  | shear wave<br>シアア・ウェーブ         | —                         | —         | 世界各地                 | しばしば遭遇                   |
| 6  | thermal wave<br>サーマル・ウェーブ      | —                         | —         | 世界各地                 | "                        |
| 7  | anabatic wind<br>熱斜面風          | 750+                      | 4000+     | フランス<br>(南アルプス)      | ?                        |
| 8  | frontal lift<br>前線上昇風          | 1000+                     | —         | 世界各地                 | "                        |
| 9  | cumulo-nimbus<br>積乱雲           | 危険なため、現代ではほとんど利用しない。      |           |                      |                          |
| 10 | dynamic soaring<br>ダイナミックソアリング | 風速勾配の急激な変化を利用。過去に数例の報告あり。 |           |                      |                          |

表1 グライダーが利用できる上昇風の種類  
実際の飛行では、これらの現象が互いに混交した複雑な  
気流状態にしばしば遭遇する。



している。表1はグライダーによって利用可能な上昇風の種類を分類したものであり、同時にそれを利用することで可能となる飛行距離が示されている。そのうち、現在主として距離飛行に利用されていて特に重要なものは、①熱上昇風②山岳波③コンバージェンスである。

日本においては、戦前から続く長い歴史にかかわらず、ごく近年までは本格的な距離飛行は不活発であった。理由は不時着に不適な水田が多く狭い平野部と、上昇風の発生に不適な気候であると考えられてきた。しかし、北海道においては、近年コンバージェンス性の上昇風発生メカニズムが明らかになったことなどにより750km以上の距離飛行が達成されるとともに、山岳波を利用した7000m以上の高々度飛行も実現されており、最先進地として認知されるに至っている。

### 3. 北海道の「上昇風相」

上昇風の種類の多様性、地域特性、季節的消長等を仮に「上昇風相」と表現するならば、北海道の上昇風相は、多様な上昇風種が混在し、かつ山を隔てた各地域毎にその特性が異なるなど、世界的にみてもあまり類のない特に複雑な様相を呈している。その中でも海風の侵入により形成されるコンバージェンスラインは、北海道の上昇風相を特徴づけるキーワードといえる。

以下に北海道の上昇風相の具体的特徴を示す。

- ①海岸部及び海岸に接する平野部は、頻繁に海風の侵入を被る「海風エリア」であり、熱上昇風の発生は乏しく、原則としてグライダーには不適である。
- ②山岳により海から隔離された内陸部は、春から秋にかけて熱上昇風がよく発生する。
- ③海風エリアと内陸エリアとの接合部では、しばしば海風の到達線に沿って気流の収束帯…コンバージェンスライン…が出現し、特に良好な上昇風が線状に発生する。
- ④山岳が豊富であるため、西よりの上昇風が卓越する秋から春にかけて山岳波がよく出現する。
- ⑤性質の異なる海洋に接していることから、また比較的高い山岳の存在によって各地が気候的に分断されていることなどから、地域毎の変化が激しい。

### 4. 海風の侵入に伴う気流収束帯の形成について

北海道における過去に行なわれた500km以上の距離飛行は、全てコンバージェンスライン (convergence line) と称される上昇風帯を利用したものであり、従ってこの現象を正しく理解することはきわめて重要である。

この気流収束帯の存在は、1991年5月15日に行なわれた高性能グライダーによる気流調査飛行を契機として次第に明らかになってきた。

当日、滝川を離陸した調査機は、常時飛行高度2000m以上を保ちつつ、十勝大樹町、オホーツク津別町を経て、約5時間の飛行で約450kmの距離を飛行した。そして機上からの観察により、線状に連なる雲低高度2000~3000mの積雲が、海岸線と平行する位置関係で発生していることや、陸地に侵入する海風と内陸の気団との接触面が明瞭に認知できたことなどから、それらが海風の侵入に伴う気流収束帯であると推定した。

事後の調査として、当日の各時毎の全道のアメダスデータから各測点の風向と風速を抽出し、それによって全道の地表風の流線推定図の作成を試みた。図1は、風向及び風速の日変化図であるが、そこには流線が対向する気流の収束帯がみられ、その数は4本であることが確認された。さらに図2は、気流収束帯の日変化を示すものであるが、この図からは、ラインの位置は9時から16時までの昼間、殆ど変動しないという事実が判明した。以降、便宜上、これら4本の収束帯をそれぞれ留萌収束線、富良野収束線、十勝収束線、オホーツク収束線と呼称することとした。

尚、当日の気象状況としては、北海道は根室半島の東方海上約500kmの北緯43°東経152°付近に中心をもつ1026mbの移動性高気圧の後面に位置し、10000ftまでの上空について殆ど無風といえる穏やかな晴天であり、石狩平野北部、上川盆地、十勝平野では最高気温25℃以上に達している。

### 5. 北海道におけるフライトエリアマップの作成

1991年5月15日の調査を基礎として、その後実際の飛行による観察結果を加えることによって、グライダーによる距離飛行に適したエリアを示すフライトエリアマップが作成さ

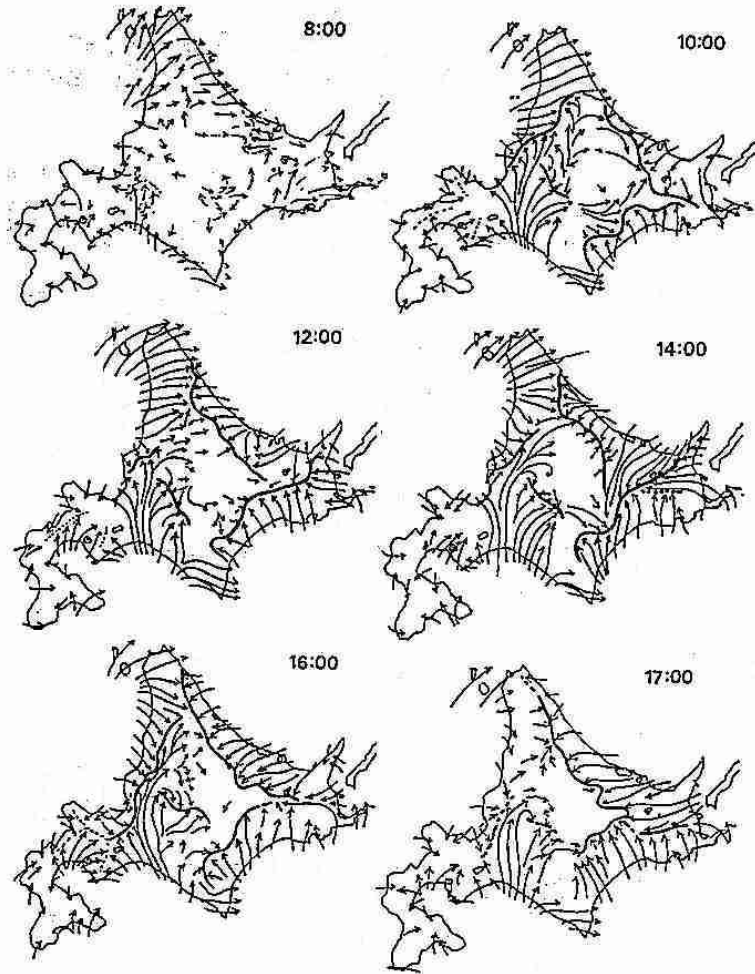
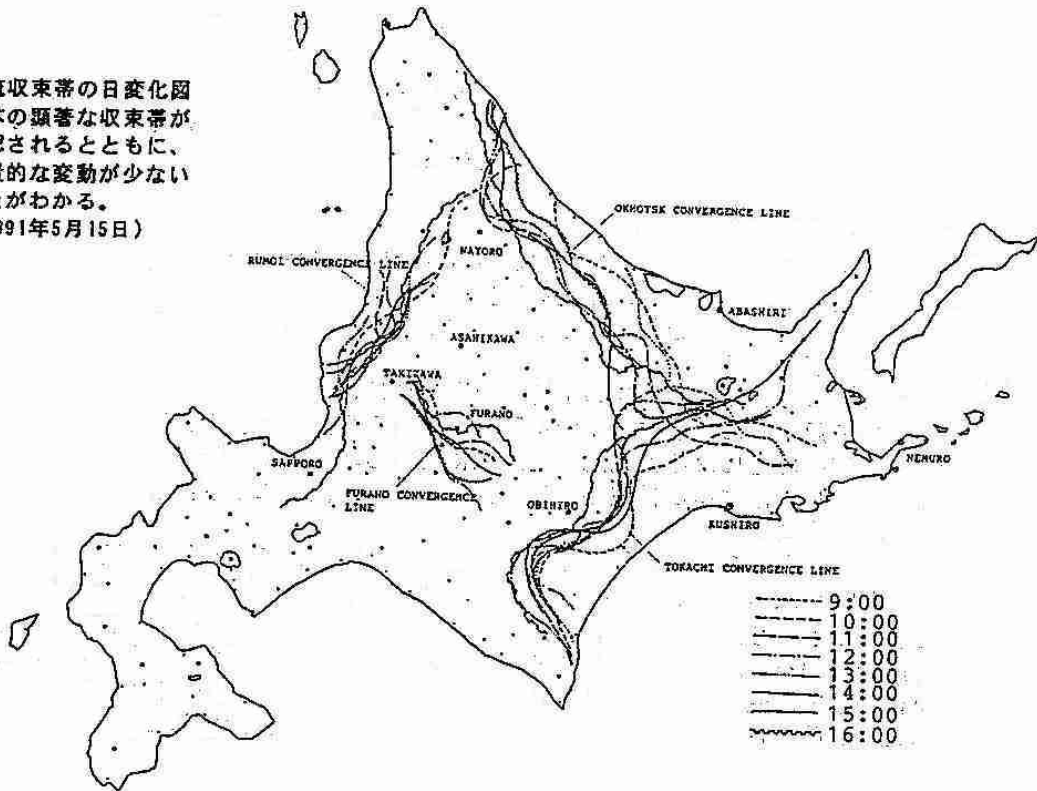


図1 地表風の流線推定図  
海風の侵入に伴って、  
日中から夕刻にかけて  
気流の収束帯が出現し  
ている。(1991年5月15日)

図2 気流収束帯の日変化図  
4本の顕著な収束帯が  
確認されるとともに、  
位置的な変動が少ない  
ことがわかる。  
(1991年5月15日)



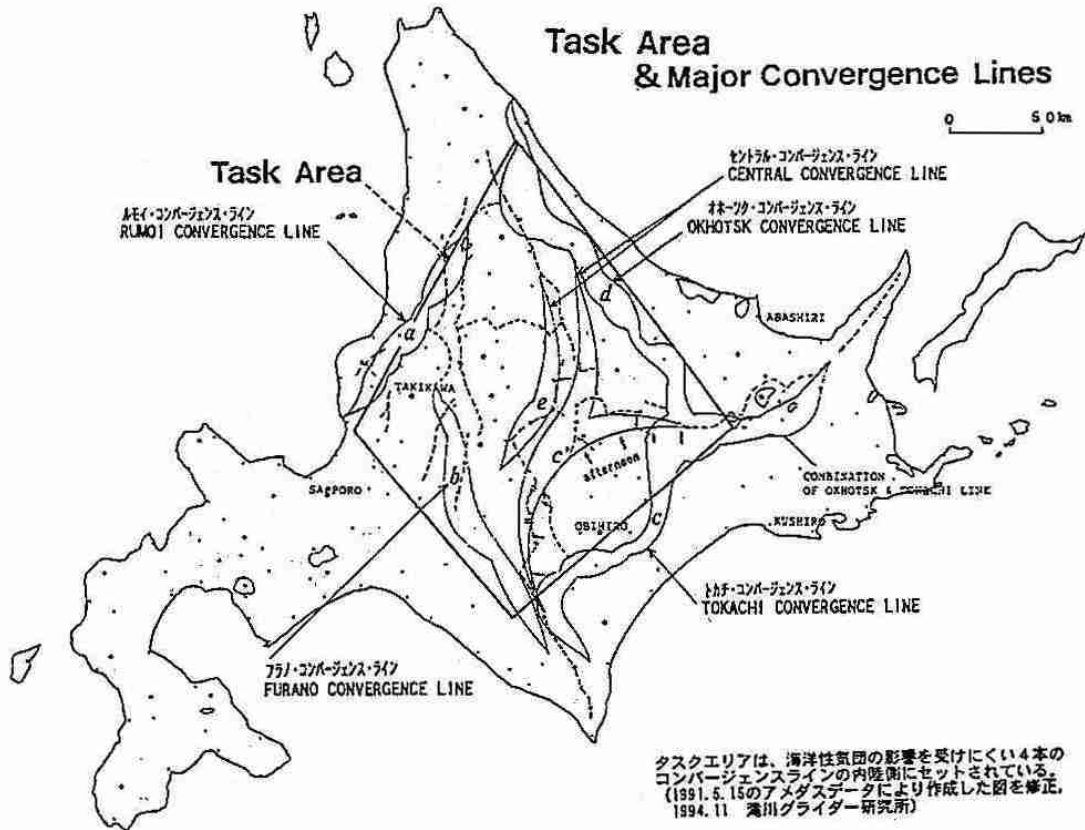


図3 北海道におけるフライトエリアマップ

安定して上昇気流の発生が期待できるエリアは、4本の気流収束帯及びその内側の内陸部であり、従ってフライトエリア（タスクエリア）は概ね実線で囲まれた部分となる。

れた（図3）。この図では、先の4本の気流収束帯に大雪・十勝山系及び日高山脈上に頻繁に発生する山岳起因の気流収束帯を加え、計5本のラインの予想される発生位置が示されている。現在では、滝川を起因としてのグライダーによる距離飛行のコース選定は、その殆どがこのマップに基づいて行なわれており、特別なケースを除いて「タスクエリア」として実線で示された範囲において飛行している。

#### 6. 日高山脈に起因する山岳波の利用

グライダーによる高々度飛行には、山岳波 (mountain lee wave) が適している。他の上昇風種では到達できない、きわめて高い高度…しばしば10000m以上…を得ることが出来、かつ長時間にわたってその気象状態が継続するため、結果としてきわめて長い距離を飛行することが可能となる。

北海道においては、このタイプの上昇風の発生には、地形的特性から日高山脈が最適といえ、西風時の風下側に位置する十勝平野を航行する小型飛行機や、時には10000m付近を航行する旅客機などによる乱気流や上昇風に関するパイロットレポートも多い。そこで日高山脈に起因する山岳波の存在をグライダーの飛行により実証する目的で、1990年及び91年に調査を行なった。

調査はまず、山岳波の発生位置を推定するため、アメリカの地球観測衛星ランドサット2・3・4・5号により撮影された衛星写真を検索し、雲の存在により可視化された山岳波の画像を抽出することから始められた。そのうち明瞭に山岳波を捉えた衛星写真5枚について、各波動の頂部を合成したのが図4である。この図から、日高山脈北部、特に新得町から御影町にかけて発生する第1波 (primary wave) の位置がきわめて安定しており、変動が少ないことが確認され、高度獲得に最適のエリアであると推定された。

図4 十勝平野における西風時のウェーブ性の雲の分布パターン  
LANDSATにより撮影された十勝平野における西風時の山岳波のうち、雲の配列時が顕著な5例を選んで合成した図であり、各ラインは雲列の頂部(crest)を示している。  
日高山脈に対してほぼ平行に山岳波が発生していること及び特に第1波について発生位置の変動が少ない(a)ことがわかる。(1990年11月24日)

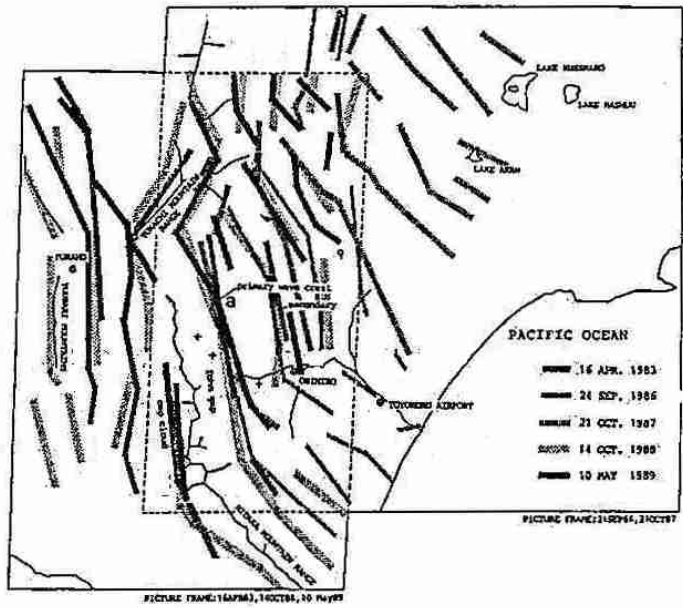
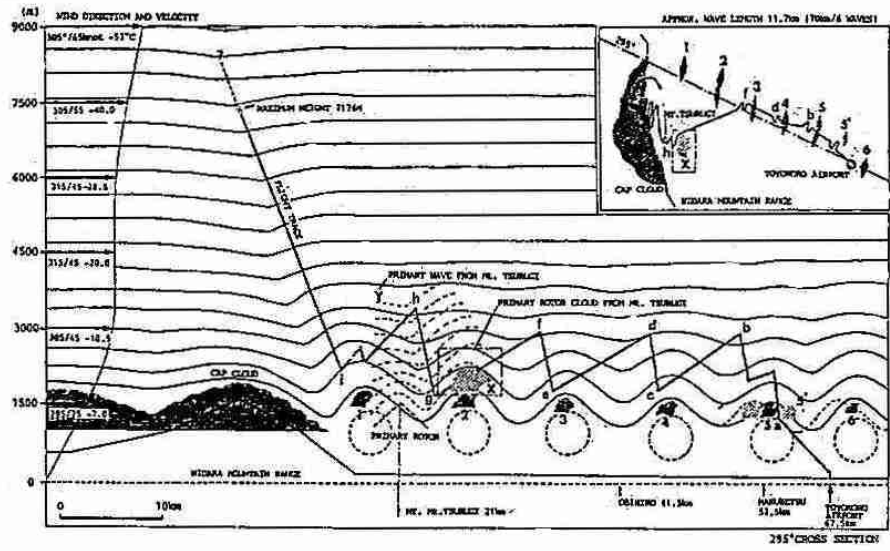


図5 十勝平野における山岳波発生時の気流推定図  
方位角295°における垂直断面推定図。飛行の経路も同時に示されている。(1990年11月24日)



従って実際の飛行は、豊頃町の飛行機を基点として、この第1波への接触を主眼において試みられたが、1990年11月24日及び1991年1月20日に調査飛行は成功し、日勝峠上空において最高々度7176、47mを記録した。その際の気流状態を推定して作図したのが図5である。当日、山岳波は少なくとも第6波まで観測され、またそれぞれの波動においてはローター雲 (rotor cloud) が発生していた。

7. おわりに

これまで述べてきたように、北海道における上昇風相は、その第1の特徴である5本のコンバージェンスラインを中心として、種々な気象現象が混交したきわめて複雑な様相を呈している。今後衛星位置標定・記録装置 (GPS recorder) を搭載したグライダーによる飛行等を通じて、それらの解明がすすめられるとともに、結果としてより長距離の飛行が達成されることを期待したい。



# 地球環境問題とオゾン層破壊

塩谷 雅人

(北海道大学地球環境科学研究科)

## 1 はじめに

私たちを取り巻く環境と一口でいっても、ごく日常的で身近かなものから、実感は湧いてこないが地球規模のものまで人々の意識はさまざまであろう。実際、大気や海洋などの汚染が最初に問題になったとき、それはいわゆる公害問題と呼ばれたように、ごく狭い領域で発生し、限られた人々がその被害を被ってしまうような事象であると人々は認識した。しかし、私たちの知識と意識が次第に広がっていくことによって、原因となる領域と被害のおよぶ領域とが異なるような問題も数多く存在するということが最近わかってきている。たとえば、大気への人為的な排出物が原因となって国境を越え影響をおよぼす酸性雨の問題であるとか、さらにはそういった放出物が全球的に広がって引き起こされる地球温暖化、あるいはオゾン層破壊などの問題である。これらが地球環境問題といわれるのもまさに、それらの事象が局所的なものではなく全球的な視点から捉えるべきものだからである。

ここでそういった地球環境問題を一つ一つ検証していくには紙面の限りもあるし、また筆者自身それらを包括的に語れるほどの力量も持ち合わせていない。そこでここでは特にオゾン層の問題に焦点をあて、いわゆる南半球の春季に特徴的に見られるオゾンホールと呼ばれる現象について解説する。それを通して、私たちを取り巻く大気層に今何が起こっているのかを考えるとともに、全球的な視点の必要性を感じてもらえるような、そんな題材の一つを提供できたらと思う。

## 2 オゾンの分布

オゾンについて話す前に、大気の鉛直構造について簡単に説明しておく。我々はふつう、大気をその鉛直温度構造に注目して次のように分けている。地表から高度約 10 km までの領域は対流圏とよばれ、気温は高度とともに減少する。そこでは私たちにもなじみ深い雲や雨と関連した現象が見られる。対流圏の上には雲のない大気層が広がっている。高度 50 km 付近までは気温が高度とともに上昇しそこを成層圏という。さらにその上には高度とともに気温が減少していく中間圏(約 50- 80 km)、そして再び気温の上昇する熱圏(約 80 km 以上)が広がっている。

オゾンは酸素原子 3 個からなる反応性の高い気体で、そのほとんどが成層圏に存在している。オゾンは太陽光のうち波長の短い紫外線領域の光を強く吸収するとともに、大気を加熱することによって成層圏から中間圏領域の高温層を作っている。さらに、オゾンが吸収する紫外線は生物の遺伝子情報を伝える細胞物質を破壊してしまうことが知られており、すなわちオゾン層は我々人類を含む地球上のすべての生物を有害な紫外線から守っていることができる。

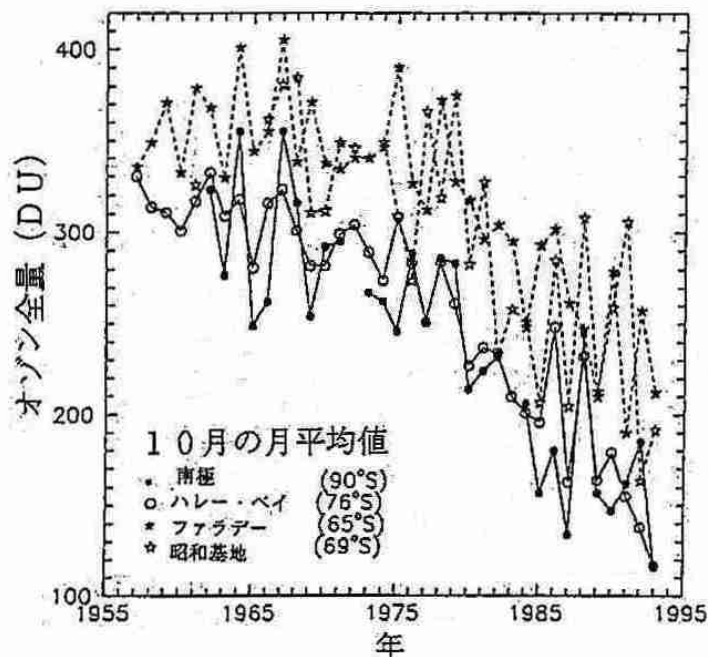


図 1: 南極域にある 4 つの観測点で測定された 10 月の月平均オゾン全量の年々変動. 単位はドブソン単位 (DU).

### 3 オゾンホール

南半球の極域で特に春の時期にオゾンが減少してきていることを最初に報告したのは、気象庁気象研究所の忠鉢氏である (1984 年). 彼は自分自身が南極昭和基地で観測した 1982 年のオゾン全量 (単位断面積をもつ気柱に存在するオゾンの総量) データが、それまでの観測値に比べて非常に低いことに気がついた. その直後、同じ南極域におけるイギリスの観測基地 (ハレー・ベイ) のオゾンデータからも同様な結果が報告された. (図 1 には南極域にある 4 つの観測点における 10 月の月平均オゾン全量の年々変動を最近の観測も含め示してある. 1980 年頃からオゾン全量が急激に減少してきているのがわかる.) さらに、人工衛星からの観測によってもこのオゾン全量の減少が南極大陸規模のものであることが確かめられるにいたって、研究者の関心は急速に高まっていった.

図 2 には衛星観測データにもとづく南半球の 10 月におけるオゾン全量分布を示す (衛星データにもとづきオゾンホールについて言及した最初の論文から引用した). もともとこの時期、南半球におけるオゾンは、南極のまわりで少なく、それを取り囲むようにして中緯度に三日月型の高濃度領域が存在するような分布をしている. この形態的な特徴をもってオゾンホールと呼ばれているのであるが、問題はこのオゾンの穴「オゾンホール」が年毎にどんどん深く (つまりオゾン量が少なく) なっていることにある. こういった観測事実に刺激されオゾンホールの特徴を明らかにするさまざまな観測がおこなわれたが、それらをまとめると: オゾンの急激な減少は (1) 南半球極域で顕著なこと, (2) 南半球の春の時期 (10 月) を中心に見られること, (3) 高度 15-20km 付近 (下部成層圏) でおこっていること, などが

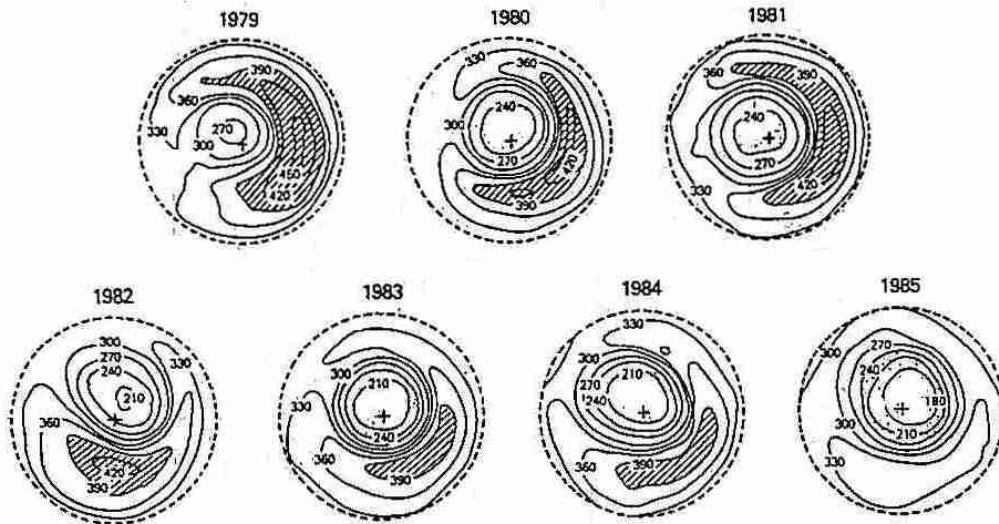


図 2: TOMS と呼ばれる衛星搭載測器によって得られた 1979 年から 1985 年までの南半球 10 月の月平均オゾン全量の図。南極上から眺めたような投影法を用いていて作画されている。図の外側の円は南緯 30 度を示す。390 DU より値の大きいところには斜線が、240 DU より低いところには点々が描かれている。

明らかになってきた。

#### 4 オゾンの破壊機構

ではなぜ春季南半球の下部成層圏極域でこのようなオゾンの破壊が起こるのか。それまでも窒素や塩素を含んだ酸化物が太陽の光でその結合が解かれること(光解離)をきっかけとして、オゾンを破壊しうることが知られていた。たとえば冷蔵庫の冷媒や噴霧器の発射剤として使われてきたフロンガスは、大気循環によって放出源である対流圏からやがては成層圏に輸送され、オゾン破壊をになう化学物質の一つとなる。しかし、そういった反応はもっぱら上部成層圏で起こることであり、下部成層圏では大規模なオゾン破壊につながないと考えられていた。さらにフロンガスが光解離してできる塩素は、ふつう窒素酸化物と結び付いて安定な分子の形で成層圏に存在し、オゾンにとっては何の影響も与えないと信じられていた。ところが、南半球の下部成層圏では冬から春にかけて非常に低温な状態となる(北半球の冬は大規模な大気波動によって南半球に比べ高温となっている)ため、水や硝酸の氷粒からなる極域成層圏雲(PSCs: Polar Stratospheric Clouds)が発達し、その氷粒の表面でこれまで考えられてこなかった反応の起こりうることがわかってきた。つまり、塩素と窒素酸化物とが結び付いてできた安定な分子も PSCs の表面で反応し、それまで閉じ込められていた塩素の放出を促し、結果的に下部成層圏で急速なオゾン破壊を招くことが明らかになってきたのである。

すぐさま(1987年)この仮説を検証すべくアメリカの研究者たちは下部成層圏を飛べる飛行機を使って、各種微量成分の測定をおこなった。図3にその観測例を示す。図の左側がオゾンホールの外、右側がオゾンホールの内に対応していることは、3番目のオゾンに関する

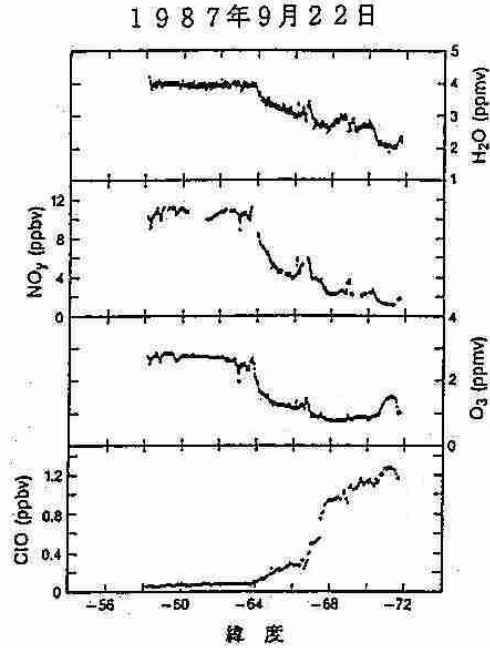


図 3: 飛行機観測から得られた(上から順に)水蒸気、窒素酸化物( $\text{NO}_y$ )、オゾン、塩素酸化物( $\text{ClO}$ )の航路に沿う緯度分布

るグラフからわかる。同時にオゾンホールの中では水蒸気(1番目のグラフ)も少なくPSCsが形成されていることを示唆している。そして最も重要なことは、オゾンの破壊を促進する鍵となる塩素酸化物(4番目のグラフ)がオゾンホール内で急激に増加し、オゾンと非常にきれいな逆相関関係を示している点である。さらに、塩素酸化物を不活性化する窒素酸化物もオゾンホール内で少なくなっている(2番目のグラフ)こともわかる。ここにいたって、私たちが何の規制もない中で放出し続けていたフロンガスが、ある条件のもとではあるが、すでにオゾン層破壊をもたしていることは明らかになったのである。

## 5 おわりに

最近米国で打ち上げられたUARSと呼ばれる大気観測衛星からも、先ほど述べた飛行機観測の成果を全球規模で確かめることに成功している。また、この夏わが国で最初の大規模な地球観測衛星ADEOS(みどり)が打ち上げられ、そこに搭載された測器の一つILASはオゾン層を監視するためのデータを取得する予定である。

いっばう1990年代にはいって、北半球成層圏でも小規模なオゾンホールが観測されるようになってきている。これは北半球下部成層圏でも低温化傾向が見られPSCsの出現頻度が高くなっていることと関連していると考えられているが、いまだに明解な説明は得られていない。フロンガスに関するさまざまな規制が提案され実行されてきてはいるが、オゾン層の破壊はまだ現在進行中の問題であり、今後も私たちは全球的な視点からそのモニタリングを継続していかなければならない。



## 北海道北部浅発地震帯の活動

～北竜地震はなぜ起きたか～

北海道大学理学部

地震予知観測地域センター 笠原 稔

### 1. はじめに

”地震”は、地殻内部の岩石破壊です。地殻とは、我々の立っている地面を含む地球の表層厚さ数10 kmの部分を行います。地殻は、そこに加えられた力を、自分自身が変形する事により、内部に蓄えることができるので、かなりの力がかかっても普段は動かずにがんばることができます。しかしながら、耐えきれなくなったときに、地中のある面（断層面）を境にして、お互いのブロックが反対方向に急激に動く「ずれ」破壊を起こします。これを”断層運動”と呼びます。その結果、蓄えていたエネルギーを一瞬にして解放し、地震動となって四方へ伝搬していくわけです。地震は、いつも、突然のように起きるのです。もちろん、破壊にいたるまでの力が作用しなければ、”地殻の破壊”はないわけですから、地震が発生している場所は、こうした力学的不安定になる要因のあるところだといえます。

1995年5月23日「暑寒別岳東方」にM5.6の地震が発生し、軽微な被害もできました。当然、突然のことに周辺の人々を大変に驚かせました。先に述べましたように、「煙のないところに火は立たず」の諺どおり、この地震が発生する原因があるわけです。ここでは、その概観を述べてみます。これが、この地域の「地震環境」の理解の一助になれば幸いです。

### 2. 北海道周辺の地震活動の特徴

いまでは、地球表面はいくつかの「プレート」で覆われており、それらの相互作用が「地震」の原因であるということは広く理解されるようになってきているかと思えます。このプレートテクトニクスと言う考えそのものが世界中の地震活動帯が明らかになることにより生まれてきたものです（図1）。世界中の至る所で地震が起きているわけではなく、地震帯で区分される、いくつかの大きなブロックが見て取れます。地震帯は、地震を起こすための力学的平衡を崩しているところですし、その発生メカニズムから、プレートの生産（拡大）と消滅（衝突）を行っていることが分かります。

北海道周辺を見てみますと、太平洋岸に沿っては、たびたび津波を伴う大地震が発生していることを知っております。また、日本海側でも、頻度は小さいのですが、昔から大地震が発生していることはわかっておりました。これは、北海道を含む「オホーツクプレート」と「太平洋プレート」が千島海溝でぶつかり、無理矢理太平洋プレートは北海道の下へ潜り込んでいこうとする結果が、太平洋岸で発生する大地震なのです。同じく、日本海側では、「ユーラシアプレート」と衝突しています。この衝突は時代が新しく、「ユーラシアプレート」が北海道の下に潜り込もうとしているように見えますが、まだはっきりしていません。その結果が、日本海東縁部で発生する大地震です。これらの大地震の繰

り返し間隔の長さ地震のメカニズムはプレートの相対運動の大きさと方向によく調和しておりますから、「プレート境界型の地震」として説明されています(図2)。

東西から2つのプレートに挟み込まれるように圧縮されているのが北海道内陸部の状況です。多くの変形をプレート境界で受け持っていると言えども、やはり内部にも大きな変形を生じてしまいます。その結果が、北海道の内陸の地震活動になるわけです。

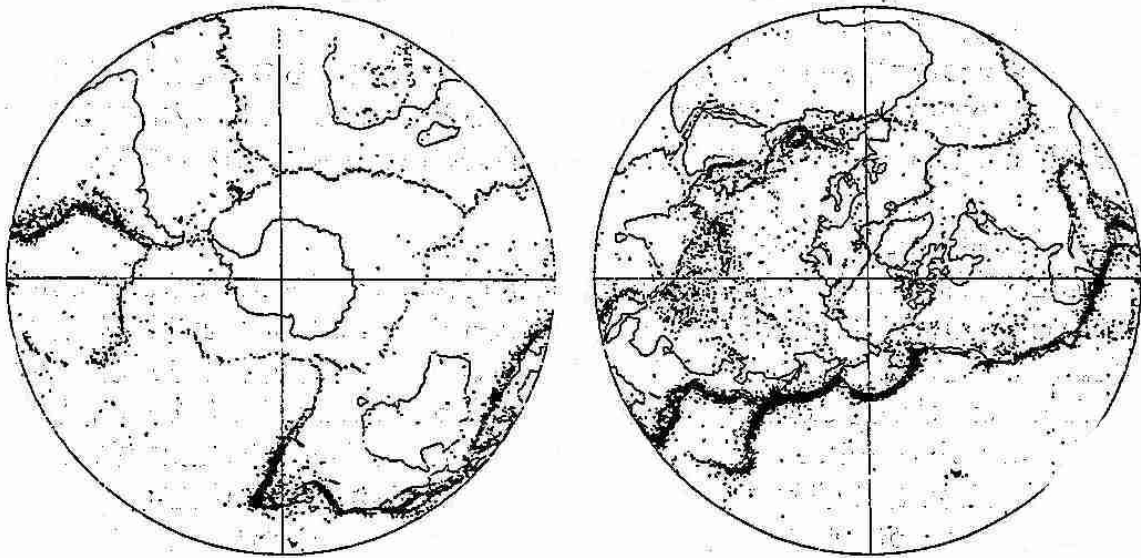
### 3. 北海道北部浅発地震帯の存在

北海道内陸部の浅い地震活動については、明治時代に入ってから、気象台による有感地震の観測により記録されるようになり、昭和に入ってから地震計による観測が始まりました。小さい地震ほどたくさん起きることを利用して、微小地震観測から地震活動の特徴を捉えようと、北海道で地震テレメータ観測が始まったのは1976年です。観測網が北海道全体に広がったのは1985年以降というのが近代的な地震観測の歴史です。たかだか100年の資料があるだけです。それより古い時代の活動は、地震「被害」を通じて、古文書に残されますが、北海道ではそれが十分ではありません。しかし、もっと古い時代の地震は、「活断層」として、記録されています。地形に刻まれた”地震の痕跡=断層運動の結果(現在進行形である)”が「活断層」です。北海道の多くの場所に分布しているのがわかります。

ここでは、北海道北部から札幌を含む南北に連なる地震帯についてみてみます。図3は、北大地震センターの観測による、最近約10年間の微小地震を含む(M1以上)30kmより浅い地震の震央分布図です。この図には、太い実線、実線、点線で確認されている活断層も示してあります。中央の固まりが、昨年5月の地震です。10年間の活動から、南北につながる地震の並びが浮き上がってきました。これは、確認された活断層と調和的に見えます。必ずしも、1つ1つの活断層との対応は、現状の観測点密度からは精度の点で満足できるものではありません。ここにみられる活断層は、東西圧縮力による南北走向の逆断層系で、地震のメカニズムの多くがその型を示し、震源の並びが南北であることは、両者の原因が同じ力源であることを示しています。この主軸から、2つの斜交して北西に延びる活断層、地震帯がみられます。図4は、この地域の1900年以降1995年までの局地的な有感地震、群発地震の推定震央位置を示したものです。この分布は、約100年間のこの地域の地震活動を示すものです。図3との対応が良いことがわかります。このように、北海道北部を含む南北に連なる地震活動帯が存在することがわかります。これは、図2にみるように、日本海東縁部でのユーラシアプレートとオホーツクプレートの衝突による東西圧縮力によるものです。考えられる最大の地震は、M6.5程度にはなるものと思われませんが、その繰り返しは~1000年にも及ぶかもしれません。われわれの、100年足らずの経験ではそのすべてを見ているわけではありません。この地震帯に沿っては、どの場所でも地震発生の可能性があると、今の所は考えています。

### 4. おわりに

被害の程度は、地震の大きさもさることながら、それを受けとめる側の状況によって大きく変化するものです。地震の発生する可能性のある場所ということを前提にした、心構えを持っておく必要があるわけです。最後に、資料として、図4に示した地震のリストと(表1)、その発生の時系列(図5上)と10年毎の頻度分布(図5下)を付けてある。これによると、1990年代は活発な時期に相当するのかもしれませんが。



ISCが決定した震央の分布。南半球,  $m_s > 4.0$ , 深さ100 km 以下, 1964~1982年 (T. Y.)

ISCが決定した震央の分布。北半球,  $m_s > 4.0$ , 深さ100 km 以下, 1964~1982年 (T. Y.)

図1: 地球で発生している100 kmより浅い地震の震央分布、ISC決定震源南半球(左)と北半球(右)、期間: 1964-1982、(吉井, 1990による)

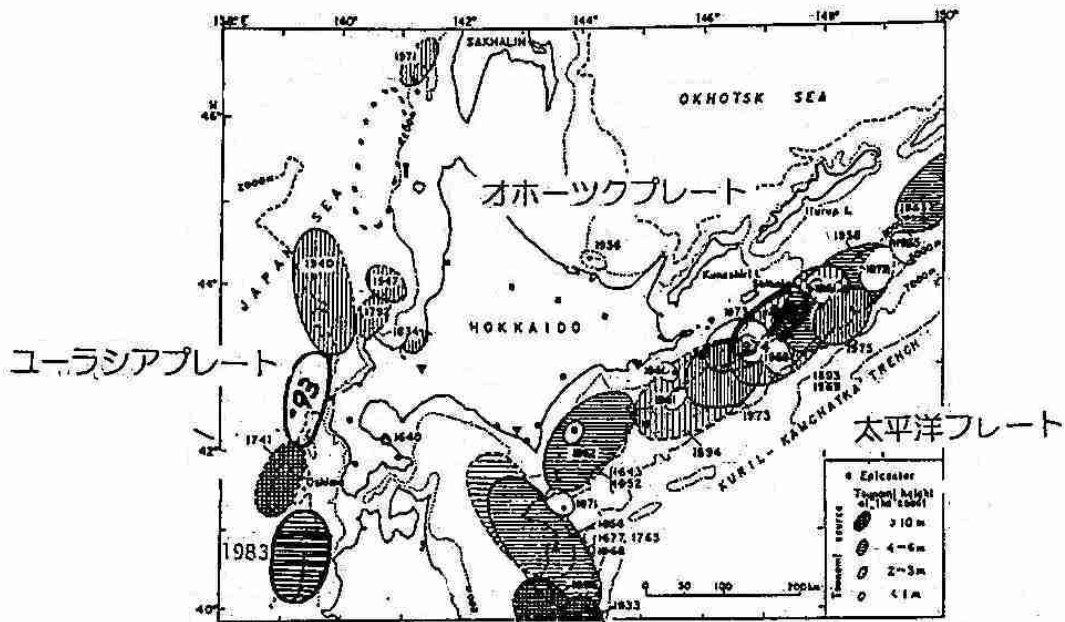


図2 北海道周辺で発生した地震による津波の波源域 (1961-1995)

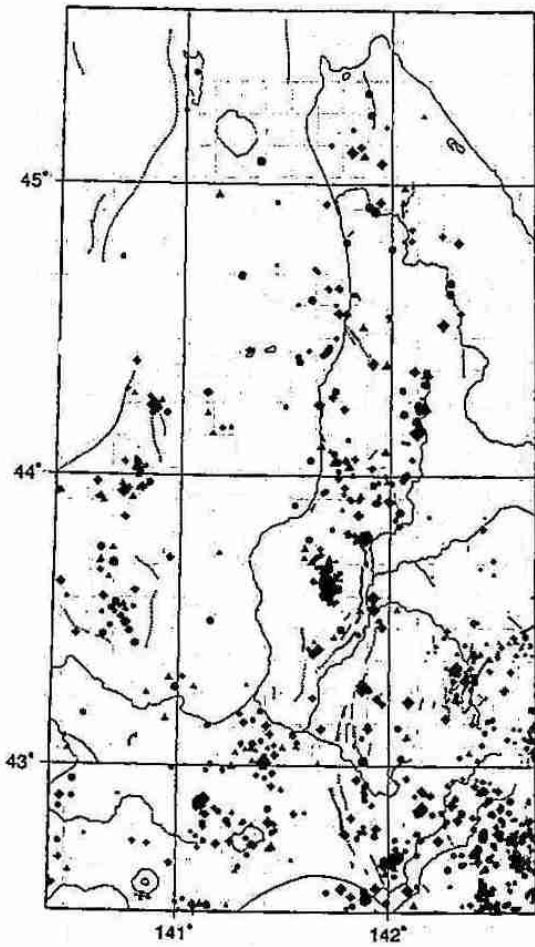


図3 1985年～1996年の微小地震 ( $M > 1$ ) を含む  
30 kmより浅い地震の震央分布。  
(北海道大学理学部地震予知観測地域センター)  
太い実線、実線、点線は、確認された活断層  
(日本の活断層より；活断層研究会、1985)

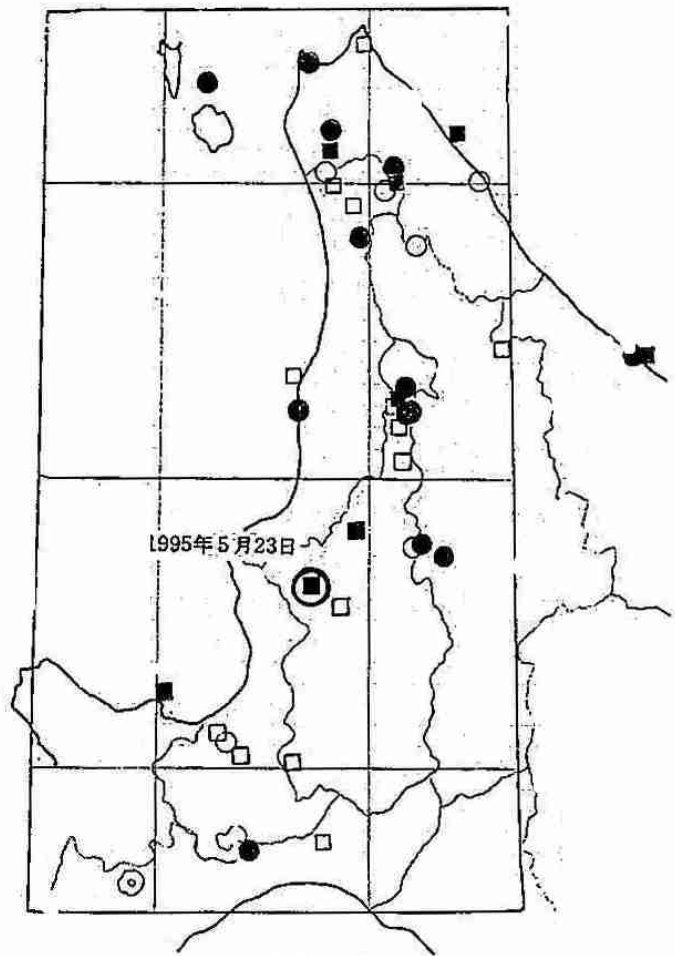


図4 1900年～1995年までの、 $M 4$ 以上の地震を含む  
この領域内の局地地震（浅発地震）  
白丸は単発、黒丸は群発、本震余震型  
(北海道の地震活動、札幌管区気象台、1985、参照)



| 位置 | 位置    | Year | Date       | Type | Msmo | Remarks    |
|----|-------|------|------------|------|------|------------|
| 20 | 礼文島   | 1908 | Apr-Feb.09 | 群発   |      | 震源移動か      |
| 19 | 稚内    | 1968 | 19-May     | 群発2個 |      |            |
| 19 | 宗谷岬   | 1978 | 18-Mar     | 単発   | 4.1  |            |
| 18 | 豊富    | 1951 | 9-Mar      | 本震余震 |      |            |
| 18 | 豊富    | 1975 | 25-Dec     | 群発   |      |            |
| 17 | 幌延    | 1928 | 4-Apr      | 単発   |      |            |
| 17 | 幌延    | 1986 | 31-Aug     | 単発   | 4.3  |            |
| 16 | 間寒別   | 1960 | 29-Aug     | 単発   | 4.4  |            |
| 16 | 間寒別   | 1960 | 16-Oct     | 群発   |      |            |
| 16 | 間寒別   | 1968 | 17-Jul     | 群発   | 4.0  | 被害あり       |
| 15 | 上音威子府 | 1932 | 1-Feb      | 単発   | 5.1  |            |
| 15 | 手塚中川  | 1959 | 17-Jun     | 本震余震 |      |            |
| 14 | 稚内    | 1952 | 23-Sep     | 単発   |      |            |
| 14 | 浜頓別   | 1981 | 11-Aug     | 群発   | 4.2  | 7月も3個あり    |
| 13 | 名寄東   | 1967 | 11-Aug     | 単発   |      |            |
| 12 | 上涌骨   | 1936 | 31-Oct     | 群発3個 |      |            |
| 12 | 紋別    | 1973 | 11-Aug     | 群発   | 4.1  | M4.1 同日(2) |
| 11 | 羽幌    | 1968 | 1-Jul      | 群発   |      |            |
| 11 | 羽幌    | 1978 | 19-Aug     | 単発   | 4.1  |            |
| 10 | 朱鞠内   | 1934 | 19-Sep     | 群発   | 5.0  |            |
| 10 | 朱鞠内   | 1990 | 11-Nov     | 本震余震 | 4.6  |            |
| 9  | 志午内   | 1930 | 17-Aug     | 群発   | 5.0  | M4.9 同日(5) |
| 9  | 志午内   | 1986 | 17-May     | 単発   | 4.2  |            |
| 9  | 志午内   | 1993 | 20-Jul     | 単発   | 5.1  | 南西沖地震直後    |
| 8  | 榑加内   | 1981 | 19-Apr     | 単発   | 4.5  |            |
| 7  | 沼田    | 1986 | 13-Nov     | 本震余震 | 5.3  | M4.1 同日(3) |
| 6  | 旭川付近  | 1928 | 21-Feb     | 群発   |      |            |
| 6  | 旭川付近  | 1937 | 1-Nov      | 単発   |      |            |
| 6  | 旭川付近  | 1955 | 30-Nov     | 群発   | 4.7  |            |
| 5  | 滝川西   | 1977 | 20-Sep     | 単発   | 4.0  |            |
| 5  | 北空知   | 1995 | 23-May     | 本震余震 | 5.6  | 過去最大の地震    |
| 4  | 札幌    | 1927 | 29-Nov     | 単発   | 4.8  |            |
| 4  | 札幌    | 1931 | 25-Nov     | 単発   | 4.1  |            |
| 4  | 札幌    | 1933 | 25-Sep     | 単発   |      |            |
| 4  | 札幌    | 1947 | 10-Apr     | 単発   | 4.1  |            |
| 4  | 札幌    | 1951 | 18-Jul     | 単発   | 5.1  |            |
| 4  | 石狩湾   | 1960 | 9-Apr      | 本震余震 | 4.5  |            |
| 4  | 札幌    | 1974 | 17-Nov     | 単発   | 4.0  |            |
| 3  | 長沼付近  | 1926 | 16-Mar     | 単発   | 4.2  |            |
| 2  | 樽前    | 1966 | 2-Jan      | 群発   |      | 火山性か       |
| 1  | 早来付近  | 1939 | 16-Jun     | 単発   | 4.6  | 深いか        |

表1 図4に示した地震のリスト

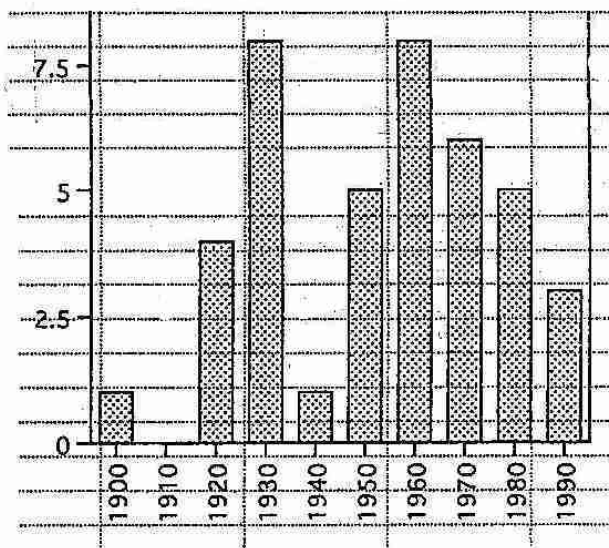
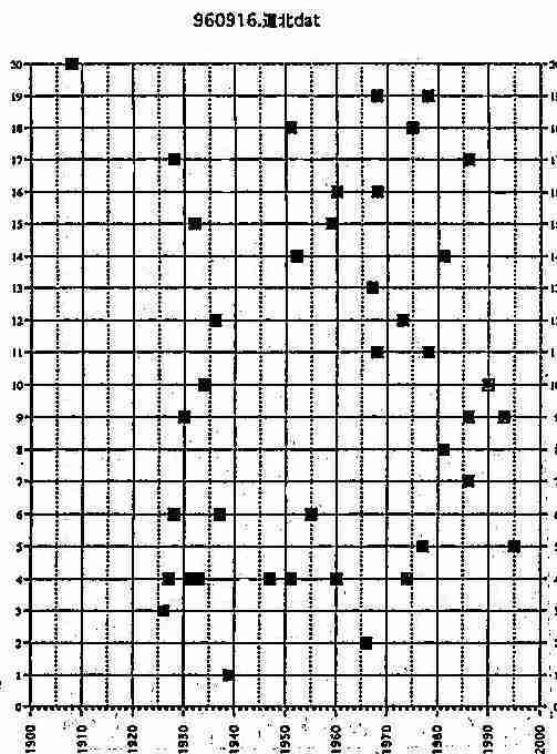


図5上 図4の地震の時空間分布。横軸は西暦年、縦軸は、表1の位置番号に対応。それぞれの地域での繰り返し発生が見て取れる。

図5下 図4の領域の地震の10年毎の発生回数の頻度分布。1930年代、1960年代に活動のピークが見られ、30年程度の消長が見られるとするならば、1990年代が活動期となる。

日本気象学会1997年秋季大会のお知らせ

日本気象学会北海道支部

- 1 日 時 平成9年10月7日(火)～9日(木)
- 2 会 場 北海道大学 学術交流会館及び百年記念会館
  - A会場 学術交流会館2F講堂
  - B会場 " 1F小講堂
  - C会場 " 1F第1会議室
  - D会場 百年記念会館大会議室
  - シンポジウム 学術交流会館2F講堂
  - ポスター会場 学術交流会館1Fホール, 2Fホワイエ
  - 大会事務室 学術交流会館1F第2会議室
  - 休憩室 " 1F第3会議室
  - 懇親会 サッポロビール園(札幌市東区北7条東9丁目)
- 3 行事予定
  - (1) 研究発表会(A・B・C・D会場)
    - 10月7日(火) 09:30～12:00
    - 13:30～16:00
    - 16:10～17:30(ポスター・セッション)
    - 10月8日(水) 09:15～12:00
    - 10月9日(木) 09:15～10:45
    - 11:00～12:20(ポスター・セッション)
    - 13:30～16:30
  - (2) 山本正野論文賞・堀内基金奨励賞授与, 奨励金贈呈  
山本正野論文賞・堀内基金奨励賞記念講演(学術交流会館2F講堂)
    - 10月8日(水) 13:00～15:00
  - (3) シンポジウム(学術交流会館2F講堂)
    - 10月8日(水) 15:00～17:00
  - (4) 懇親会(サッポロビール園)
    - 10月8日(水) 18:00～19:40
- 4 発表件数 352件(第1種講演235, 第2種講演30, ポスター87)
- 5 全国理事会 北海道大学ファカルティハウス(エンレイソウ)
  - 10月7日(火) 17:30～

—写真訪問①—

## 北海道農業試験場クリオトロン —農業低温科学研究の総合実験施設—

北海道農業は「低温」をどのように利用して農業生産を向上させるか、一方、マイナス面としての「低温」をいかに克服するかがその発展の鍵となっている。低温の影響を科学的に解明するためには、従来進めてきた自然条件下での研究と共に、精密に環境条件を設定できる施設での研究が必要である。そのため実験施設として、1996年5月、札幌市羊ヶ丘の北海道農業試験場にクリオトロンが完成した。クリオトロンは寒冷を意味するCryo（クライオ又はクリオ）と環境制御施設を意味するtron（トロン）の合成語である。建坪832m<sup>2</sup>（延べ床面積916m<sup>2</sup>）内に展示室と7実験室で構成され、建物は雪結晶をイメージした白色の六角形である（写真1）。また、建物の各所にも雪結晶のデザインが施されている（写真2）。

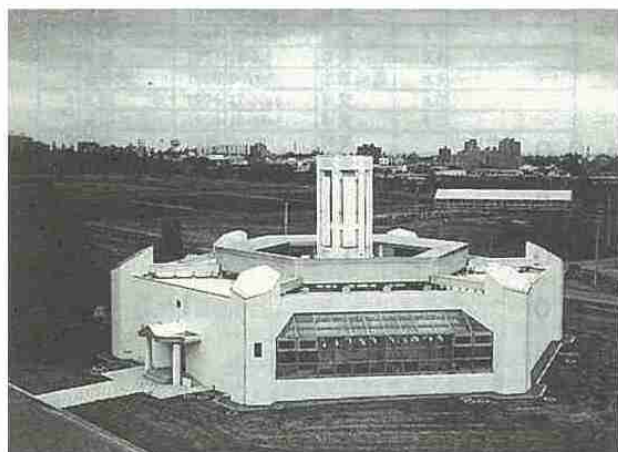


写真1 クリオトロンの全景



写真2 玄関などにデザインされた雪結晶

この施設では、常温から冷温（15～0℃）、凍結するが生存可能な凍温（0～-30℃）、さらに樹木や極地植物の生存限界である超低温（-80℃）までの広い温度範囲において、作物が冬を越すために必要な寒さに対する抵抗力や雪腐病に対する抵抗性の獲得に必要な寒冷馴化（ハードニング）の仕組み、越冬中や冷夏での花芽形成の抑制や促進のメカニズム、寒地土壌での根と微生物の関係の解明、凍結した土壌や積雲を広域で把握するためのリモートセンシング技術の開発などの研究が行われている。

従来、このような研究は自然環境にたより、限られた期間しか実施できなかったが、クリオトロンの完成により通年可能となった。クリオトロンは北方圏農業研究の中核研究施設として農業低温科学研究の飛躍的な発展に大きく貢献すると期待されている。

### 施設内実験室の概要

- ◎低温生物実験室：人工降雪室を中心として、積雪下の作物の生理と雪腐病の発病機構を調査し、雪腐病防除の知見を得る。北方害虫・線虫の低温耐性を研究するための低温害虫実験室（0～20℃）を備え、害虫の越冬態勢を明らかにする。
- ◎根圏土壤生態実験室：地上部が育成するガラス室と寒地の代表土壤を充填した根箱を独立に温度制御して、根圏での生物・土壤・土壤微生物、三者の相互関係を解明する。
- ◎超低温実験室：樹木や極地植物の限界環境を再現する超低温庫（-50～-80℃）と前室（-20℃）を備え、植物の凍害研究や植物遺伝資源の凍結保存法の研究に用いる。
- ◎耐凍性実験室：常温室（15～30℃）、ハードニング室（-10～10℃）、凍温室（-30～-10℃）の3室を備え、人工環境下で材料の養成から耐凍性検定まで一貫して実施する。
- ◎物理情報実験室：マイクロ波散乱計を設置した低温の電波暗室を設け、衛星マイクロ波リモートセンシングによる土壤凍結・積雪の広域調査法に関する基礎データを得る。
- ◎低温春化制御実験室：低温による、植物の花芽の分化（春化）や休眠打破の仕組みを明らかにするために低温実験室と緑体実験室を備えている。
- ◎低温ストレス解析室：活性酸素測定用の電子スピン共鳴装置を設置して、凍害・病害の発生要因を解析する。

（北海道農業試験場 城岡竜一）



—写真訪問②—

紋 別 測 候 所

記録ホルダー「紋別測候所」

日本一 535 ……………?

全道一 8 ……………?

1 はじめに

さて、上の数字、冒頭からクイズで恐縮ですがなんの記録か分かりますか？

ヒントはmm、%です。答えは、全部読んでいただいてから！

気象学会事務局の田島さんから「紋別測候所を紹介するから原稿を送れ」と言われ困った。気象学会には気象官署の会員が多く「紋別知ってるよ」と言われそうであるし、どうしたら広く会員諸氏に読んでいただけるか悩んだ。

小生も平成2～3年に田島さんと同じ立場に居たことでもあり、断わるわけにもいかないし……！ヨーンシ敢えて、やわらかく書かせてもらおう。気象学会誌の品位を落さなければ良いが……。

2 おいたち 41歳

紋別測候所の創立は昭和31年1月1日で、今年、41歳の働き盛りである。

測候所としては珍しい紋別空港分室がありこちらは、10歳若い昭和41年5月1日生まれ。

誕生の背景は次のとおり。

紋別市は市部では全国5位の広い面積を有し、オホーツク海の漁田開発の基地として、また、管内8町2村面積1,240km<sup>2</sup>に及ぶ産業、経済、文化の中樞をなす。

これら市町村の経済基盤は紋別市を中心とする漁業・農林業に依存するところが多く、そのため、早くから気象官署の設置が要望され、ようやく昭和30年に至りその必要性が認められ、翌31年に開設された。

3 ところ 特等席

たいがいの気象官署が街外れの小高い場所にあるが、ここ紋別でも例外でなく、市街の南、港湾まで500mを切る標高15.8mの南が丘という所に建っている。

庁舎は単独、平屋建であるが3階造りの測風塔があるうえ、昭和57年に測風鉄塔(地上高18m)を付け足したのでノッポである。

測風塔からの眺めはすこぶる良い。紋別の港、市街地、大山スキー場、紋別公園などが360°パノラマだ。花火大会の時は測風塔が特等席となる。

構内敷地は、約6,000m<sup>2</sup>(≒1,800坪)もあり、広々としていて草刈り等環境維持は大変だが、子供さん達にとっては格好のグラウンドとなる。また、生物季節観測(後述)に誠に適してる。

職員数は本所8名、空港分室3名であるが、構内に運輸合同宿舎があり、紋別海上保安部の方4軒が一緒

なので賑やかである。

花見は構内で行い、15家族に案内するが、広いから全家族来ても OK である。しかし残念ながら、単身赴任者、独身者が多く構内の片隅で十分こと足りている。

#### 4 しごと 海氷はまかせて

(1) 観測が主であるが、観測にも次のような種類がある。

##### ア 地上気象観測

気候観測 気候調査を主な目的とする観測。

通報観測 毎日定時に行う通報のための定時通報観測 (09時、15時)。

\*21時に定時観測しているが、通報はしていない。

台風、雷雨等に関する予報のための臨時通報観測。

##### イ 海洋観測

沿岸の定位置において海氷の状態について観測を行う沿岸海氷観測。

毎日10時に測風塔から海を眺め海氷の分布状態、氷の種類、量などをスケッチした上、通報する。

そのほか、流水初終日、海明け、接岸等氷に関わる統計は資料の宝庫みたいにある。過去に観測していた海水温、比重のデータも大事に保管している。先輩諸兄ご安心あれ。

##### ウ 生物季節観測

さくら、水仙、もみじ、あじさい、カッコウ、モンシロチョウ、セキレイの開花、初見、初鳴などを記録し、その年の季節の遅れ、進みを見るとともに総合的な気象状態の推移を観測する。

約20km 離れた紋別空港付近も対象にしている。

\*地震：過去に震度3が4回あったきりで、おとなしい土地である。

(2) 予報・通報 牧草刈りはいつ？

農林業関係者は長期予報に対する関心が高く、電話による予報・資料照会が多くある。特に、牧草の刈入れが年2回はあり、そのころ、早朝から詳細な予報の問い合わせが多くなり解説に気を遣う。なにしろ、牧草を刈り、広げ、乾かし、取り込むまでには最低でも3日は必要とされ、その間、雨がポツリポツリ降っても品質が落ちるのでダメ。誠に厳しい注文？がある。

また、昨今は外国船の紋別入港が激増し、平成8年はロシア船を主に約1,200隻もの漁船・木材船などが出入りし、流水期の航行にはヒヤヒヤしている。

気象情報の解説にも力が入る。

(3) 通信 ゲレンデの音楽が

測候所の西約3kmに大山という標高334mの山がある。その頂上に紋別山無線中継所(無人)があり、気象官署間のVHF無線電話(複信)の重要な取次ぎをしている。この子守も当所の重要な業務の一つだ。

この山にはスキー場があり、リフト2本を乗り継げば頂上で、流水をめがけて滑る壮快感はたまらない。



写真1 冬の露場から見た紋別測候所

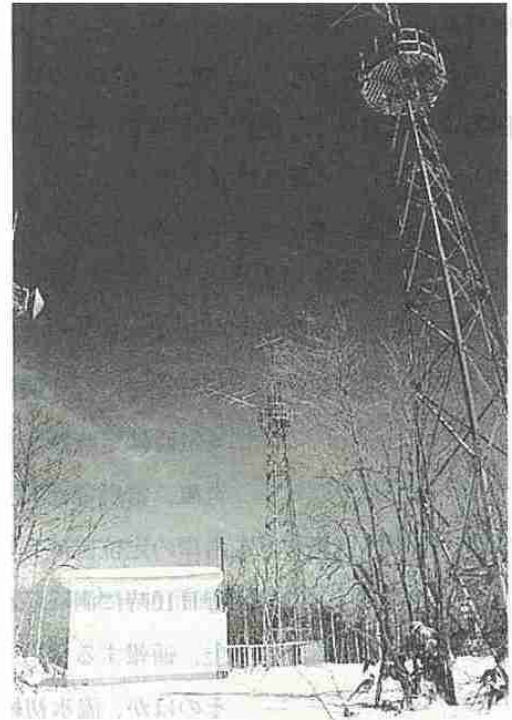


写真4 紋別山中継所（局舎と鉄塔2基）



写真2 測風塔から見た風景、外海は流氷群



写真3 現業室（80観測装置の上は温風ダクト）



写真5 ノッポの測風塔と測風鉄塔

(4) 地域サービス 身長は？

地区予報の解説、気象情報の有効な発表・通報はもちろぬのこと、そのほか、地域住民からの資料照会、講演会等の要請があれば可能な限り対応している。

また、毎年施設見学会を開催し市民の皆さんに気象に対する理解を得るよう努めている。おちびさんたちを主役に70名位の人が来てくれる。積雪深計を使ってこの身長測定は人気の的。

5 その他 通勤30秒

構内に職員11名全員の宿舍があり、通勤時間30秒。分室の人はもうちょっと!?かかる。

月1回(給料日)は昼と夜!に打合せ会をし、和もバッチリ。また、テニスコートもあり6月1日の気象記念日には、北海道大学低温科学研究所付属流水研究施設、紋別漁業無線局の人達と親睦を深めるのに一役かっている。

6 おわりに

気象学会員の方はご存じであろうが、毎年、2月には「北方圏国際シンポジウム」(日本気象学会後援)が紋別市で4日間にわたって開催され、国内外から大勢の方が参加されている。

毎年、気象庁気候・海洋気象部海上気象課の職員も来紋し、立派な研究発表を堂々と英語で行い、地元の気象人としてはスカッとさせてもらっている。気象学会員のみなさんも、流水見物を兼ねて、ぜひおいでください。氷が溶けるほど熱烈歓迎します。

[最後にお約束のクイズの答え]

「535」は紋別の年降水量の少ない値(535mm)で1984(昭59)に記録し、まだ破られていない。ちなみに、紋別の年降水量の平年値も829.3mmと少ない。

「8」は日最小相対湿度の極値(8%)で1957(昭32)5月4日に記録し、ご存じのフェーン現象によるものでした。読了感謝します。

(紋別測候所長 藤山興二)



—支部総会報告—

平成9年度日本気象学会北海道支部総会報告

平成9年度日本気象学会北海道支部総会は、平成9年6月9日(月)13時30分から北海道大学・百年記念会館会議室において開催した。

遊馬幹事長(北海道大学大学院理学研究科)から開会挨拶の後、総会が成立(出席者38人、委任状88名)した旨報告された。

このあと議長の選出を行い、議長には上田博会員(北海道大学大学院理学研究科)が選出され、次の順で議事が進められた。

菊地勝弘支部長(北海道大学大学院理学研究科)の挨拶に始まり、大西常任理事(札幌管区気象台)から平成8年度支部事業報告、小嶋常任理事(日本気象協会北海道本部)から平成8年度支部決算報告及び高橋会計監査(北海道教育大学)から会計監査報告があり、出席者全員の拍手で承認された。

続いて、大西常任理事から平成9年度支部事業計画案、小嶋常任理事から平成9年度支部予算案が説明され、いずれも原案どおり承認された。

【総会次第】

- 1 開 会
- 2 議長選出
- 3 議長挨拶
- 4 支部長挨拶
- 5 議 事
  - (1) 平成8年度支部事業報告
  - (2) 平成8年度支部決算報告
  - (3) 平成8年度会計監査報告
  - (4) 平成9年度支部事業計画(案)
  - (5) 平成9年度支部予算(案)
- 6 閉 会

【平成8年度支部事業報告】

1 平成8年度支部総会

日時：平成8年6月7日（金）13時30分～14時00分

場所：北海道大学地球物理学教室3の401室

出席者：総会出席者40人，委任状68人

2 平成8年度支部研究発表会

（第1回）

日時：平成8年6月7日（金）14時10分～17時00分

場所：北海道大学地球物理学教室3の401室

発表題数：9題（出席者数45人）

（第2回）

日時：平成8年11月14日（木）13時30分～16時30分

場所：札幌管区气象台大会議室

発表題数：10題（出席者数58人）

3 特別気象講演会

日時：平成8年6月19日（水）10時30分～12時00分

場所：北海道大学地球物理学教室3の401室

講師：Prof. C.P.R. Saunders

Univ. of Manchester, Institute of Science and Technology

題目：Research into Thunderstorm Charging Processes

日時：平成9年2月21日（金）15時00分～16時30分

場所：北海道大学地球物理学教室3の402室

講師：Prof. Ehrhard Raschke

GKSS Research Center, Germany

題目：Particle Measurements in Clouds from Ground with Radar  
and from Aircraft

4 第14回夏季大学講座「新しい気象」

日時：平成8年7月31日（水）10時～8月1日（木）15時

場所：第1日目 札幌市青少年科学館

第2日目 札幌管区气象台

講義題目・講師

- ① 「雪崩」 西村 浩一（北海道大学低温科学研究所）
- ② 「巨大彗星がやってくる」 渡辺 和郎（札幌市青少年科学館）
- ③ 「新しい天気予報と今年の5月の低温」 藤田 英治（札幌管区气象台）
- ④ 「気候とその変動・異常気象」 松野 太郎

（北海道大学大学院地球環境科学研究科）

施設見学：札幌市青少年科学館，札幌管区气象台

参加者数：申込数66人（第1日目 58人，第2日目 51人）

## 5 気象講演会

日時：平成8年10月18日（金）13時00分～16時40分

場所：滝川市役所大会議室

講演題目・講師

- ① 「最新レーダーが明かす降雪のしくみ」  
上田 博（北海道大学大学院理学研究科）
- ② 「グライダーと気象～雲たちの千の顔・青空の千の色～」  
丸伊 満（滝川市教育委員会スカイスポーツ課）
- ③ 「地球環境問題とオゾン層破壊」  
塩谷 雅人（北海道大学大学院地球環境科学研究科）
- ④ 「北海道北部浅発地震帯の活動～北竜町の地震を中心に～」  
笠原 稔（北海道大学理学部附属地震予知観測地域センター）

出席者数：152人

- ① 年齢別 20歳未満：78人，20～29歳：19人，30～39歳：6人  
40～49歳：17人，50～59歳：14人，60～69歳：5人  
70歳以上：4人，年齢不明：9人
- ② 職業別 学生88人，公務員33人，公共企業団体15人，法人4人  
会社員1人，農業1人，自由業1人，無職2人，職業不明7人
- ③ 市町村別 滝川市118人，札幌市22人，その他12人

## 6 支部機関誌「細氷43号」

発行部数：400部

平成8年9月25日印刷，同年9月30日発行

## 7 支部幹事会

第1回 平成8年5月27日（月）（於：札幌管区气象台）

第2回 平成8年9月27日（金）（於：札幌管区气象台）

第3回 平成9年2月24日（月）（於：札幌管区气象台）

## 8 支部理事会

第1回 平成8年5月29日（水）（於：札幌管区气象台）

第2回 平成8年10月7日（月）（於：日本気象協会北海道本部）

第3回 平成9年 3月3日（月）（於：北海道大学ファカルティハウス  
「エンレイソウ」）

## 【平成8年度支部決算報告】

## 収入

| 項 目       | 予 算(円)  | 決 算(円)  | 備 考                |
|-----------|---------|---------|--------------------|
| 前年度繰越金    | 95,691  | 95,691  |                    |
| 本部交付金     | 358,000 | 382,650 | 309人×850円+120,000円 |
| 夏季大学交付金   | 100,000 | 100,000 | 本部交付金              |
| 広 告 料     | 319,000 | 319,000 |                    |
| 預 金 利 子 等 | 300     | 248     | 預金利子               |
| 合 計       | 872,991 | 897,589 |                    |

## 支出

| 項 目                     | 予 算(円)  | 決 算(円)  | 備 考            |
|-------------------------|---------|---------|----------------|
| 理 事 会 費                 | 10,000  | 10,000  | お茶代等(3回開催)     |
| 支部役員選挙経費                | 25,000  | 24,348  | 封筒購入, 郵送料      |
| 総会・研究発表会                | 10,000  | 8,964   | 開催案内・プログラム等郵送料 |
| 事 務 費                   | 30,000  | 32,120  | 消耗品及び郵送料等      |
| 夏季大学経費<br>及び<br>気象講演会経費 | 360,000 | 338,750 | 講師謝金, 印刷代等     |
| 細水42号経費                 | 380,000 | 285,250 | 印刷代, 原稿料, 郵送料  |
| 交 通 費                   | 40,000  | 35,900  | 理事会出席の旅費       |
| 予 備 費                   | 17,991  | 17,857  | 郵送料, 交通費等      |
| 小 計                     | 872,991 | 753,189 |                |
| 次年度繰越金                  |         | 144,400 |                |
| 合 計                     | 872,991 | 897,589 |                |

平成9年3月31日

日本気象学会北海道支部

## 【平成9年度支部事業計画】

## 1 平成9年度支部総会

日 時：平成9年6月9日(月)13時30分～14時00分

場 所：北海道大学・百年記念会館大会議室

出 席：出席者数38人 委任状数88人 計126人

## 2 平成9年度支部研究発表会

日 時：平成9年6月9日(月)14時00分～17時00分

場 所：北海道大学・百年記念会館大会議室

発表題数：9題, 出席者数：48人



3 第15回夏季大学講座「新しい気象」

日時：平成9年7月30日（水）10時～7月31日（木）15時

場所：第1日（30日） 札幌市青少年科学館（52人参加）

第2日（31日） 札幌管区気象台（47人参加）

講義題目・講師

- ① 「北海道に被害を与える地震」 本谷 義信（北海道大学理学部地質学知観測地域センター）
  - ② 「気候、季節、暦の話」 竹谷 良一（札幌管区気象台）
  - ③ 「降水の酸性化（酸性雨）」 野口 泉（北海道環境科学研究センター）
  - ④ 「大雪発生のメカニズム」 藤吉 康志（北海道大学低温科学研究所）
- \* 施設見学（札幌市青少年科学館・札幌管区気象台の各施設）

4 日本気象学会1997年秋季大会

日時：平成9年10月7日（火）～9日（木）

場所：北海道大学・学术交流会館及び百年記念会館

5 特別気象講演会

適宜開催

6 支部機関誌「細氷43号」

平成9年9月下旬刊行予定

7 支部理事会

第1回 平成9年5月28日（水）（於：札幌管区気象台）

第2回 平成9年9月25日（木）（於：日本気象協会北海道本部）

第3回 平成10年3月上旬予定（於：北海道大学予定）

8 支部幹事会

第1回 平成9年5月12日（月）（於：札幌管区気象台）

第2回 平成9年9月22日（月）（於：札幌管区気象台）

第3回 平成10年2月下旬予定（於：札幌管区気象台予定）

## 【平成9年度支部予算】

## 収入

| 項 目     | 金 額 (円) | 備 考                |
|---------|---------|--------------------|
| 前年度繰越金  | 144,400 |                    |
| 本部交付金   | 366,500 | 290人×850円+120,000円 |
| 夏季大学交付金 | 100,000 | 本部交付金              |
| 広 告 料   | 240,000 |                    |
| 預金利子等   | 300     | 預金利子, 雑費           |
| 合 計     | 851,200 |                    |

## 支出

| 項 目                     | 金 額 (円) | 備 考   |
|-------------------------|---------|---|
| 理 事 会 費                 | 15,000  | お茶等購入費(3回開催)                                |
| 総会・研究発表会                | 12,000  | 案内・プログラム郵送料                                 |
| 夏季大学講座<br>及び<br>特別気象講演会 | 120,000 | 夏季大学講座100,000円<br>特別気象講演会20,000円(講師謝金, 郵送料) |
| 細氷43号刊行                 | 350,000 | 印刷代, 原稿料, 郵送料                               |
| 交 通 費                   | 40,000  | 理事会出席旅費等                                    |
| 事 務 費                   | 240,000 | ワープロ購入費, 消耗品費, 郵送料等                         |
| 予 備 費                   | 74,200  |   |
| 合 計                     | 851,200 |   |

—役員会報告—

《平成8年度日本気象学会北海道支部役員会報告》

1 平成8年度第1回理事会（細氷42号129頁で掲載済）

2 平成8年度第2回理事会

(1) 日 時：平成8年10月7日（月）13時00分～15時00分

(2) 場 所：日本気象協会北海道本部会議室

(3) 出席者：菊地，窪田，大西，小嶋，生本，塩谷，若林，佐竹，西山，田島

(4) 議 事

ア 支部長挨拶（要旨省略）

イ 平成8年度支部事業（中間）報告

支部総会，支部研究発表会，特別気象講演会等の実施状況について，若林幹事長代行から報告された。

ウ 第14回夏季大学講座について

平成8年7月31日から8月1日にかけて開催された標記講座の経過報告について，若林幹事長代行から，収支報告について田島幹事から報告があり了承された。

また，札幌市青少年科学館研修室の完成に伴う運営等については，見学会を含め次年度に改めて検討することになった。

エ 平成8年度気象講演会について

平成8年10月18日に滝川市で開催する気象講演会の準備状況と広報活動状況等について佐竹幹事から，滝川市との最終打合せの状況及び収支中間報告について田島幹事から報告された。

オ 平成8年度予算収支（中間）報告

中間の収支状況及び今後の使用計画について，事務担当幹事から報告があり了承された。

カ 支部機関紙「細氷42号」の刊行について

契約業者の変更と予算使用状況並びに今後の編集作業の効率化について，塩谷幹事から報告された。

なお，細氷42号は平成8年9月30日に各会員に発送した。

キ 第3回支部幹事会・理事会の開催について

幹事会は平成9年2月下旬（於：札幌管区气象台），理事会は同年3月上旬（於：北海道大学）に開催することで了承された。

ク 日本気象学会1997年秋季大会について

1997年秋季大会準備委員会の設立について承認され，併せて準備委員の選出が行われ，原案どおり承認された。

活動資金については，従来どおりの方法で実施することで確認された。

なお，若林委員（支部幹事・日本気象協会北海道本部所属）が12月1日付けで異動する旨報告があった。若林委員の異動に伴い，役員補充を同所属の佐々木浩氏が引き継ぐことで了承された。

### 3 平成8年度第3回理事会

(1) 日 時：平成9年3月3日(月) 13時30分～14時45分

(2) 場 所：北海道大学・ファカルティハウス「エンレイソウ第1会議室」

(3) 出席者：菊地，窪田，大西，遠藤，小嶋，長谷川，生本，遊馬，佐竹，佐々木  
塩谷，田島

#### (4) 議 事

ア 支部長挨拶(要旨省略)

イ 平成8年度第2回理事会報告

2項参照

ウ 平成8年度支部事業報告

第2回理事会以後に実施した支部研究発表会，特別気象講演会の開催状況について遊馬幹事長から，また地方気象講演会(滝川市開催)の開催状況及び収支決算報告は，佐竹幹事・田島幹事から報告された。

エ 平成8年度支部予算収支(中間)報告

中間の収支状況及び今後の使用計画について，事務担当幹事から報告があり了承された。

オ 日本気象学会1997年秋季大会の準備状況について

標記について，遊馬幹事長から次のとおり報告された。

① 秋季大会の準備委員会を平成8年10月に発足し，第1回及び第2回の準備委員会を開催しその準備を進めてきた。

② なお，準備の進捗状況については，第3回準備委員会で報告する。

カ 平成9年度当初の会議等スケジュール

年度当初に予定されている第1回理事会，秋季大会実行委員会，支部総会及び研究発表会の開催スケジュールについて，遊馬幹事長・事務担当幹事から説明があり了承された。

キ 特別気象講演会の運営について

特別気象講演会運営の現状は，年に1回開催分しか予算計上していないため，2回以上開催の場合は学会支部からの講師謝金等を支出できない場合が生ずるが，その場合も支部後援の形をとり，支部活動として取り扱ってきた。

この問題については，各理事及び幹事から特に周知方法について意見が出されたが，今後は以下により運営することです承された。

① 当初予算には，支部主催として1回分の講師謝金と全会員に周知するための郵送料を計上する。

② 第2回開催からは，支部後援の形をとり，札幌近郊の関係機関の会員等に開催機関の責任でFAX等の手段により開催周知する。

③ 開催した同講演会は，支部活動として取り扱う。

ク 全国理事会役員の変替について

支部常任理事・窪田将氏が4月1日付転出に伴い，全国役員(理事)を辞任したい意向である。その後任については，支部から推薦することです承された。

### 4 平成8年度第1回幹事会



「細氷42号」130頁に掲載済。

**5 平成8年度第2回幹事会**

(1) 日 時：平成8年9月27日(金) 14時00分～17時00分

(2) 場 所：札幌管区气象台

(3) 出席者：若林，西山，田島

(4) 打合せ事項：第2回支部理事会の議事内容について検討

**6 平成8年度第3回幹事会**

(1) 日 時：平成9年2月24日(月) 13時30分～17時00分

(2) 場 所：札幌管区气象台

(3) 出席者：遊馬，佐竹，佐々木，塩谷，田島，西山

(4) 打合せ事項：第3回支部理事会の議事内容について検討

## 《平成9年度日本気象学会北海道支部役員会報告》

### 1 平成9年度第1回理事会

- (1) 日 時：平成9年5月28日(水) 13時30分～14時45分
- (2) 場 所：札幌管区气象台大会議室
- (3) 出席者：菊地，古川，大西，遠藤，小嶋，村木，三浦，高橋，遊馬，佐竹，佐々木  
塩谷，田島，金子

#### (4) 議 事

##### ア 支部理事及び支部幹事の補充について

支部役員の春の異動に伴う補充について，次の方が選ばれ承認された。

選任：古川武彦(常任理事)，村木彦麿(理事)，三浦 武(理事)  
金子秀毅(幹事)

##### イ 役員業務分担について

平成9年度の理事・幹事の業務分担は次のとおり決定した。

- ① 企画・総括担当：古川常任理事，小嶋常任理事，遊馬幹事長
- ② 講 演 担 当：大西常任理事，佐竹幹事
- ③ 夏季大学担当：遠藤常任理事，佐々木幹事
- ④ 細 氷 担 当：三浦理事，塩谷幹事
- ⑤ 庶務・会計担当：田島幹事，金子幹事

##### ウ 平成8年度第3回理事会報告

役員会報告第3項を参照。

##### エ 平成8年度の支部事業報告及び決算報告

平成8年度事業については遊馬幹事長から，同決算については事務局担当から報告  
され了承された。

##### オ 平成8年度支部会計監査報告

平成8年度支部会計監査の結果について，高橋会計監査から「会計帳簿等関係書類  
を監査した結果，適正に処理されている旨」報告があり承認された。

##### カ 平成9年度の支部事業計画案及び予算案

原案の一部を以下のとおり修正のうえ承認された。

##### (事業計画案)

平成9年度支部事業計画第3項，4項，5項を参照。

##### (支部予算案)

支出のうち，「事務機器購入代」は，「事務費」に繰り入れる。

##### キ 夏季大学について

講師及び講義題目が決定した旨，佐々木幹事から報告があり承認された。

(平成9年度支部事業計画第3項を参照)

##### ク 「細氷43号」の掲載内容について

掲載項目及び作成分担等は，原案どおり了承された。

##### ケ 平成9年度支部総会について

支部総会の日時・場所及び議事内容について、若干の修正を加えて原案どおり承認された。

コ 秋季大会実行委員会の設立と委員について

準備委員会から移行した実行委員会の設立と18名（2名増員）の実行委員について承認された。

2 平成9年度第1回幹事会

(1) 日 時：平成9年5月12日（月）13時00分～17時00分

(2) 場 所：札幌管区气象台大会議室

(3) 出席者：遊馬，塩谷，佐竹，佐々木，田島，金子

(4) 打合せ事項

平成9年度第1回理事会及び秋季大会実行委員会の議事内容について検討した。

## —支部役員—

## 日本気象学会北海道支部役員名簿

平成9年5月28日

| 役職名   | 氏名                 | 所属                |
|-------|--------------------|-------------------|
| 支部長理事 | キクチ カツヒロ<br>菊地 勝弘  | 北海道大学大学院理学研究科     |
| 常任理事  | フルカワ タクヒコ<br>古川 武彦 | 札幌管区気象台           |
| 常任理事  | オオニシ ハルオ<br>大西 晴夫  | 札幌管区気象台           |
| 常任理事  | エンドウ タツオ<br>遠藤 辰雄  | 北海道大学低温科学研究所      |
| 常任理事  | コジマ ネツム<br>小嶋 修    | 日本気象協会北海道本部       |
| 理事    | ムラキ ヒコマロ<br>村木 彦磨  | 函館海洋気象台           |
| 理事    | ミツラ タケシ<br>三浦 武    | 札幌管区気象台           |
| 会計監査  | タカハシ ツネヤ<br>高橋 庸哉  | 北海道教育大学           |
| 幹事長   | アスマ ヨシオ<br>遊馬 芳雄   | 北海道大学大学院理学研究科     |
| 幹事    | ウタケ マコハル<br>佐竹 正治  | 日本気象協会北海道本部       |
| 幹事    | ウツキ ヒロシ<br>佐々木 浩   | 日本気象協会北海道本部       |
| 幹事    | シノダニ マツト<br>塩谷 雅人  | 北海道大学大学院地球環境科学研究科 |
| 幹事    | クジマ ヨシミ<br>田島 義英   | 札幌管区気象台           |
| 幹事    | カネコ ヒデアキ<br>金子 秀毅  | 札幌管区気象台           |



一支部交換機関誌一

- ・東北支部だより 第27号 (1996, 11)  
第28号 (1997, 3)  
第29号 (1997, 7)
- ・中部支部だより 第46号 (1997, 6)
- ・関西支部ニュース 第224号 (1997, 3)  
第225号 (1997, 5)  
第226号 (1997, 7)
- ・九州支部だより 第78号 (1996, 12)  
第79号 (1997, 6)
- ・東北支部 気象講演会講演要旨 1996. 10. 22 福 島  
1997. 9. 5 仙 台  
平成8年度東北支部講演会予稿集 1996. 11. 26 仙 台
- ・関西支部 第19回夏季大学テキスト  
天気変化の仕組みと新しい天気予報 1997. 7. 23 大 阪
- ・中部支部 生まれ変わった気象情報－「予報原理」から  
「新しい気象情報」ができるまで－ 1997. 8. 29 名古屋
- ・九州支部 地球環境に関するシンポジウム予稿集  
地球環境～過去・現在・未来～  
(その学際的理解を目指して) 1996. 10. 15 福 岡  
支部講演会要旨集 第18号 1997. 2. 6 福 岡
- ・沖縄支部 農業・漁業経営に及ぼす亜熱帯気象に関するシンポジウム  
～気象で考える：創る農業・育てる漁業～ 1996. 10. 30 平良市

— 支部通信欄 —

1 事務局からのお願い

(1) 退会・転出・転入された方へ

日本気象学会から退会される方、北海道支部から他支部への転出、他支部から北海道支部に転入された方は、日本気象学会本部事務局へ連絡するとともに支部事務局へもご連絡願います。(支部事務局への連絡は、支部機関誌「細氷」末頁の【所属(住所)変更届】をご利用願います。)

(2) 平成10年度支部総会に出席できない方へ

平成10年度支部総会(平成10年6月の予定)に出席できない方は、支部機関誌「細氷」末頁の【平成10年度支部総会委任状】に記名・捺印のうえ総会前日までに出席会員に渡されるか、直接支部事務局へお送り下さい。

(3) 学会への勧誘について

気象に関心をお持ちの方が身近におりましたら、気象学会への入会をお勧めして下さい。入会申込書は支部事務局にあります。

年会費は、一般A会員は 6,900円、一般B会員は 12,600円、学生A会員は 4,200円、学生B会員は 8,100円です。

A会員には、気象学会機関誌「天気」のみ、B会員には「天気」と「気象集誌(英文論文)」が配布されます。

また、北海道支部発行の機関誌「細氷(研究発表会の要旨や解説等)」が無料配布され、更に学会が発行している「気象研究ノート」なども会員価格で購入できます。

2 編集後記

(1) 昨年度の支部気象講演会は、滝川市で開催しましたが、ご協力頂いた滝川市、滝川市教育委員会並びに関係機関の皆様方に感謝申し上げます。

(2) 北海道支部と支部会員のつながりが緊密になるような親しみやすい機関誌にしたいと思っておりますので、掲載内容についてのご意見、アイデア等をお寄せ下さい。

(3) 本号の編集にあたり、寄稿者等の多くの方々にご無理を申し上げご協力頂きましたことに感謝申し上げます。

(4) この通信欄は、支部会員同士の情報交換にもお使い頂けます。ご希望の方は原稿を支部事務局までお寄せ下さい。

(問合わせ先)

日本気象学会北海道支部事務局

〒060 札幌市中央区北2条西18丁目

札幌管区气象台技術部気候・調査課内

TEL 011-611-6121(内線415)

FAX 011-611-3206

--- ユーザーの立場になって身になって ---

株式会社岩崎、ソフト開発エンジニアリング株式会社、岩崎メンテナンスサービス株式会社  
販売から、機器設置、データ処理と一貫したシステムでお客様の御要望に御答え致します。

取扱商品

気象機器、テレメーターシステム、各種処理装置。

| 商 品 販 売<br>(株) 岩 崎<br>社員76人               | 機 器 設 置 及 び 保 守 点 検<br>岩崎メンテナンスサービス(株)<br>社員23人  | デ ー タ 処 理<br>ソフト開発エンジニアリング(株)<br>社員12人  |
|---|--|---|
| 札幌 本社<br>札幌市東区北6条東2丁目<br>011-721-2531     | 札幌 本社<br>札幌市東区北6条東2丁目<br>011-721-2531  | 札幌 本社<br>札幌市東区北6条東2丁目<br>011-721-2531   |
| 東京出張所<br>東京都台東区東上野4-7-17<br>03-845-0481   | 札幌本社、旭川支店、<br>釧路出張所、網走営業所<br>常時在駐  |  |
| 旭川支店<br>旭川市流通団地2条5丁目<br>0166-48-1125      |    | データ処理及びソフト開発使用<br>設置機器  |
| 釧路出張所<br>釧路市双葉町17番19号<br>0154-23-7488     | VAX 750<br>OKI V50/60<br>IF.RX.M60 M50<br>JRC 230<br>NEC PC9801<br>N5200-07<br>武藤工業 A0デジグラマー<br>東洋電気 A0プロッター<br>オシロスコープ、アナログレコーダ<br>ロジックアナライザー<br>周波数カウンター、各テスター |   |
| 帯広出張所<br>帯広市西3条南1丁目<br>0155-23-6511       | 設置作業例  | 納入実績  |
| 函館出張所<br>函館市中島町31番19号<br>0138-55-0108     | 設置、保守納入実績  | 流量観測データ処理ソフト  |
| 北見出張所<br>北見市美芳町6丁目3番7号<br>0157-24-2831    | 水位雨量観測施設保守業務   | 地殻変動データ処理ソフト  |
| 苫小牧出張所<br>苫小牧市矢代町1丁目2番地3号<br>0144-74-8171 | 総合気象観測施設設置保守<br>(農業、ダム、消防、公害、道路)   | 土壌水分データ処理ソフト  |
| 網走営業所<br>網走市緑町1番8号<br>0152-43-3530        | ダム放流警報施設保守業務   | 温度分布データ処理ソフト  |
| 室蘭営業所<br>室蘭市東町1番8号<br>0143-43-6228        | 太陽電池設置業務   | 総合気象データ処理ソフト  |
| 稚内営業所<br>稚内市潮見3丁目<br>0162-32-2608         | テレメータ設置、保守   | 画像解析処理ソフト   |

# 超音波だからできる3次元風速成分の測定と ハイレソンスでの温度測定…。

他方式の風速計では困難であった

ハイレソンスでの風のベクトルの測定と温度変動の測定を可能にした超音波風速温度計が  
マイクロプロセッサ搭載により高機能化が図られて誕生しました。

世界初の超音波風速温度計の実用機を開発して20余年、  
国内はもとより世界各国に納入実績を誇る「KAIJO SONIC」のノウハウを  
随所に取り入れた自信作です。

## ■DA-600シリーズ仕様

|          |                 | 超音波風速計  | 超音波温度計   |
|----------|-----------------|---|--|
| 測定方式     |                 | 時分割送受切換型超音波パルス法   |  |
| 演算方式     |                 | 超音波伝搬時間逆数差演算方式  | 超音波伝搬時間逆数和演算方式   |
| 測定範囲     |                 | 小型プローブ型：0～20m/s(5cmスパン)<br>小型プローブ型：0～30m/s(10cmスパン)<br>標準プローブ型：0～30m/s(20cmスパン)<br>強風プローブ型：0～60m/s(20cmスパン)                                       | 温度：-10℃～+40℃<br>使用範囲外の場合はご相談下さい  |
| 演算精度     |                 | 1%  | 1%(注1)   |
| 分解能      |                 | 0.005m/s  | 0.025℃   |
| 測定繰返し    |                 | 20回/秒   |  |
| 平均化時間    |                 | 30秒～600秒(30秒きざみで設定可)  |  |
| 出力<br>信号 | OUT-1           | 成分風速：0～±1V/0～±10m/s max±10V   | 温度：0～±1V/0～±50℃  |
|          | OUT-2           | 成分風速：0～±1V/F.S<br>風速：0～1V/F.S<br>風向：0～1V/F.S<br>フルスケール<br>成分風速：0～±1、±2、±5、±10、±15、±20、±30、<br>±60m/s<br>風速：0～1、2、5、10、15、20、30、60m/s<br>風向：0～540° | 温度：0～±1V/F.S<br>変動温度：0～±1V/F.S<br>フルスケール<br>温度：0～±50℃<br>変動温度：中心温度より±5℃、±10℃の切換方式<br>中心温度は手動設定 |
|          | デジタル<br>RS-232C | ASCIIコード。符号付5桁  |  |
| LCD表示    |                 | 成分風速、風速、風向  | 温度、変動温度  |
| 使用環境     |                 | 本体：-10℃～+40℃ 0～80%RH  | プローブ、接続箱：-20℃～+50℃ 0～100%RH  |
| 電源       |                 | AC 100/115/220V ±10% 50/60Hz  |  |

## 株式会社 カイジョー



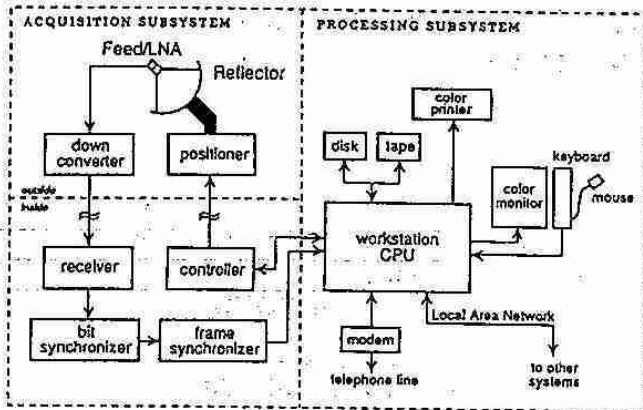
## 海洋気象衛星「ノア」HRPT (AVHRR) 直接受信システム

この度、米国シースペース社と販売協力提携をし同社製テラスキャンシステムの販売を行っておりますので、ご案内申し上げます。  
テラスキャンシステム (Tera Scan System) は、ノアHRPT画像 (分解能1.1km)、大気観測センサー (TOVS/HIRS-MSU-SSU) のデータを受信、解析処理するシステムであり、シースペース社の豊富な経験と実績を基に開発された製品で、コストパフォーマンスに優れたシステムであります。

このシステムは、米国スクリプス海洋研究所、南極マクマード基地を始め世界中の研究機関、大学等で稼働しております。  
弊社は、ノア (APT) 受信解析システム、ひまわり (WEFAX) 受信解析システム、衛星画像解析システム (ランドサット (TM)/MSS, MOS-1, NOAA HRPT/APT, 他) の販売と合わせて、テラスキャンシステムの販売、保守をいたしております。  
なお、ひまわりS-VISSR受信システムの販売も 行っております。

- |                                  |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| ノア HRRT (AVHRR) 受信システム (陸上用・船載用) | 漁場管理処理システム      |
| ノア APT 受信システム (陸上用・船載用)          | 漁場管理レーダ画像伝送システム |
| ひまわり WEFAX 受信システム                |                 |
| ひまわり S-VISSR 受信システム              |                 |
| 衛星画像解析ソフトウェア (ランドサット・ノア・MOS-1他)  | パソコン通信ソフトウェア    |
| マイクロデータロガー                       | その他関連製品         |

TERASCAN  
HRPT ANTENNA SERVER  
SYSTEM DIAGRAM



## M/E 日本船用エレクトロニクス株式会社

〒221 横浜市神奈川区東神奈川2-41-1 (洋光ビル)  
TEL (045)453-6911(代) TLX J3823778.OKEYU J

### 営業所

- |                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 札幌 〒060 札幌市西区二十四軒4条7丁目5番25号     | 電話(011)614-1612<br>FAX(011)614-1613 |
| 八戸 〒031 八戸市大字飯町字日ノ出町12-8        | 電話(0178)33-4136                     |
| 神戸 〒651 神戸市中央区御幸通2丁目1-5         | 電話(078)291-0561<br>FAX(078)291-0563 |
| 呉 〒737 呉市 津路町4-2                | 電話(0823)23-3976                     |
| 高松 〒760 高松市西内町3-7 (森ビル)         | 電話(0878)21-7195<br>FAX(0878)21-7195 |
| 下関 〒750 下関市大和町1-16-4 (漁港ビル西館6号) | 電話(0832)66-5225<br>FAX(0832)66-5226 |
| 長崎 〒850 長崎市筑後町4-7 (大久保ビル別館)     | 電話(0958)26-7318                     |

# INS ネット64



### ■1回線で電話2回線分

INSネット64は1回線でアナログ2回線が利用できるため、インターネット通信中でも電話やFAXが使用でき、料金もアナログ2回線を引くより断然割安です。

### ■アナログ回線に比べ 通信速度は約2倍以上

アナログ回線で28.8kbit/sのモデムを使用した場合に比べ、ISDNの通信速度は約2倍以上の64kbit/sなので、アクセスポイントまでの通話時間が短縮でき経済的、イライラなしの快適なインターネットが楽しめます。

施設設置負担金不要。

新規にISDN回線を設置するなら

## INS ネット64・ライト

既存のINSネット64に、基本料が月々640円加算されますが、施設設置負担金がゼロなので、9年4ヶ月以下のご利用の場合はINSネット64ライトの方がお得です。

### ■申込時費用

(消費税別)

|         | 現在ご利用の電話から変更する場合 | 新しくお申込みの場合 |
|---------|------------------|------------|
| 契約料     | 800円             |            |
| 施設設置負担金 | 不要               | 72,000円    |
| 工事費     | ご利用ケースによって異なります。 |            |

### ■月々の費用

|     | 項目  | INSネット64<br>1回線の場合 | 普通の電話<br>2回線の場合   |
|-----|-----|--------------------|-------------------|
| 住宅用 | 基本料 | 2,830円             | (1,750円×2) 3,500円 |
| 事務用 | 基本料 | 3,630円             | (2,600円×2) 5,200円 |

\*上記の金額はDSUおよび屋内配線をお買い取りで、市外局番が"011"でご利用いただいているお客様の場合で算出しています。

\*パソコン・電話の他にFAX等をご利用の際には、ダイヤルイン機能(有料)を契約されると、さらに便利です。

\*一部ご利用できない地域があります。

お問い合わせは

局番なしの「116番」または ☎0120-494933

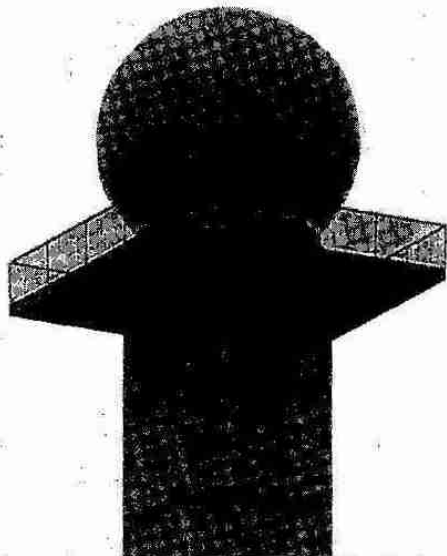
受付時間 午前9時～午後5時(月曜～金曜) 土・日・祝日は休業とさせていただきます。

気象観測に貢献する

# JRC 日本無線株式会社

営業品目

|             |          |
|-------------|----------|
| 気象用レーダー     | 気象衛星受画装置 |
| 雨量・水位テレメーター | 気象FAX    |
| 衛星通信システム    | 画像伝送システム |
| 津波警報装置      | 地震観測システム |



本社事務所

〒107 東京都港区赤坂2丁目17番22号赤坂ブイワ-本館 TEL (03)3584-8744

北海道支社

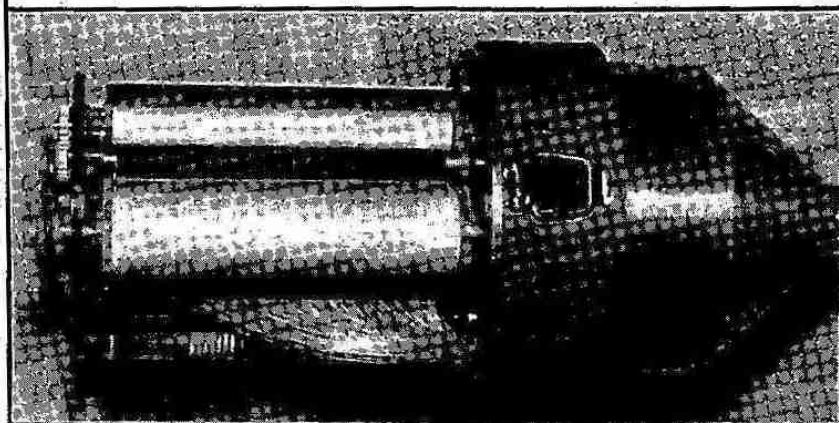
FAX(03)3584-8891

〒060 札幌市中央区北3条西7丁目北海道水産ビル

TEL (011)261-8321

FAX(011)261-3879

## SNOW DEPTH RECORDER



長期積雪深記録計

SK-102型 SK-104型

本装置は、無電源地域（例えば山岳地帯や他の任意の場所）における積雪深を長期間にわたって連続測定をするために開発された記録装置です。積雪地域の水資源に関する基礎調査や環境調査、山地の気象調査などに際して、任意の場所における積雪深の記録を得ることができます。

総発売元 有限会社 **コンドウサイエンス**

〒064 札幌市中央区南16条西 5丁目

TEL 011(521)6132, FAX 011(511)0304

北海道知事許可(石第14852)電気通信工事業

# K-CAV

株式会社 **光映堂 シーエーブイ**

■本 社/札幌市中央区北4条西15丁目 ☎(011)643-1010

FAX(011)641-2247

■イベントレンタル部/札幌市中央区北4条西15丁目 ☎(011)643-2155

■旭川営業所/旭川市豊岡13条7丁目47 ☎(0166)31-0615

FAX(0166)31-0618

■釧路営業所/釧路市昭和中央3丁目1番8号 ☎(0154)55-2111

FAX(0154)52-2111



# MICOS Web

気象データがインターネットで  
さらに身近に、さらに便利に。

ミスターは、全国各地の気象データをインターネットで、だれでも簡単に利用できる画期的なシステムです。どんなパソコンからでも、気象にかかわる様々なデータを引き出すことができます。



Meteorological Remote Data Base System



### お手持ちのインターネット 端末で利用できます。

インターネットに接続できる機材があれば、機種を問わず利用できます。パソコン、ワープロ、インターネット専用端末、最近話題のインターネットテレビなど、多彩な端末機の利用がはかれます。

### データ加工も思いのまま

必要データはテキストデータとして取り込めますので、エクセルやロータス1・2・3などの表計算ソフトを利用し、統計処理、グラフ化などが簡単に行えます。

| 観測所名 | 緯度    | 経度     | 標高 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 | 観測項目 |     |
|------|-------|--------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 札幌   | 43.06 | 142.40 | 10 | 気温   | 湿度   | 気圧   | 風速   | 風向   | 降水量  | 日照   | 雲量   | 霧    | 霜    | 雪    | 氷    | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下 |
| 仙台   | 38.26 | 141.88 | 10 | 気温   | 湿度   | 気圧   | 風速   | 風向   | 降水量  | 日照   | 雲量   | 霧    | 霜    | 雪    | 氷    | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下 |
| 東京   | 35.68 | 139.76 | 10 | 気温   | 湿度   | 気圧   | 風速   | 風向   | 降水量  | 日照   | 雲量   | 霧    | 霜    | 雪    | 氷    | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下 |
| 大阪   | 34.68 | 135.50 | 10 | 気温   | 湿度   | 気圧   | 風速   | 風向   | 降水量  | 日照   | 雲量   | 霧    | 霜    | 雪    | 氷    | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下 |
| 福岡   | 33.59 | 100.00 | 10 | 気温   | 湿度   | 気圧   | 風速   | 風向   | 降水量  | 日照   | 雲量   | 霧    | 霜    | 雪    | 氷    | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下  | 氷点下 |

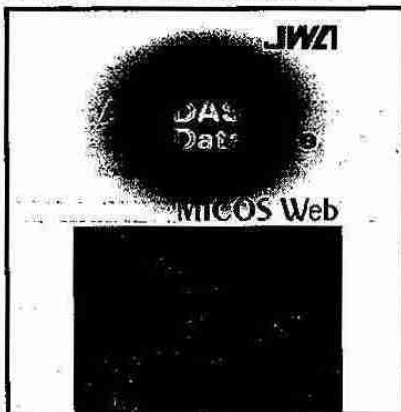
### ブラウザによる簡単操作

マイクロウェブ・ミスターの操作はいたって簡単。ブラウザと統一した操作で、マウスを動かし、選択ボタンに合わせクリックするだけ。面倒なキー入力も制限となっています。接続も最初アドレスを入力し、ボタンを押すと簡単にマイクロウェブ・ミスターサイトへ接続します。特別なパソコンの知識は必要ありません。最初から誰でも簡単にデータを取り出すことができます。



### 全国のアメダスポイントを利用可能

全国、約1,300カ所のアメダスポイントをマイクロウェブ・ミスターは利用できます。地点の決定は、画面に表示される地点のボタンをマウスで押すだけです。



たとえば北海道の石狩ポイントのデータを指定するには、日本全国から北海道エリアを選択。次に支庁別から道央地区、次に石狩のボタンを押します。

### 入会はオンラインサインアップで

面倒で時間のかかる入会手続きは、「マイクロウェブ・ミスター」へ直接アクセスし、必要事項を登録していただくだけで、すぐに御利用になれます。セキュリティ対策は万全の対策を行っていますので安心です。

### リーズナブルな料金体系

マイクロウェブ・ミスターは、お気軽にご利用いただけるようリーズナブルな課金体系を整えました。特別なプログラムは必要なく、インターネットの接続が可能な環境があれば、御利用時間に応じた課金体系なので、余計な料金はかかりません。利用頻度に応じて課金されますので、適切な運用が可能です。

●入会金: 10,000円  
●データ料(1日/1観測): 20円  
※公共教育・研究機関は入会金が不要です。

Netscape Communicationsのロゴ、Netscape Navigator及びNetscapeは、Netscape Communications社の商標です。Netscape Navigatorの著作権は、Netscape Communications社に帰属します。

■お問い合わせは、マイクロウェブ・ミスター係へどうぞ。

●フリーダイヤル 0120-622-177 ●URLアドレス <http://herb.jwa.go.jp/>

財団法人 日本気象協会



## 「水」計測システム

—KADEC®MIZU—

### ■海水で使用できるチタン製

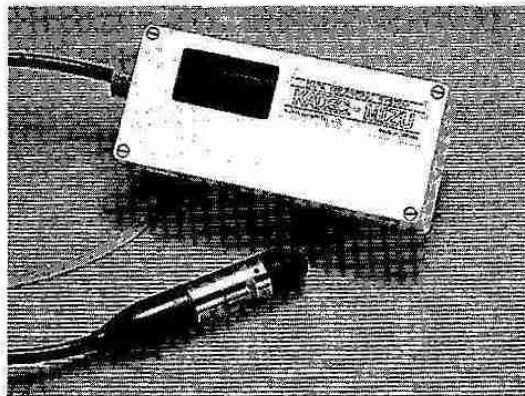
センサ部分の接液部（ダイヤフラム）をはじめ、筐体はすべてチタン製です。従来測定が困難だった海水・汽水・海浜地域の井戸水などの測定にも標準で対応できます。

### ■波消し機能

2~58秒の平均化をすることにより、風波等の波消しをデジタル式に行えます。平均化時間はユーザーがオプションで設定可能です。

### ■2つのモード測定モード

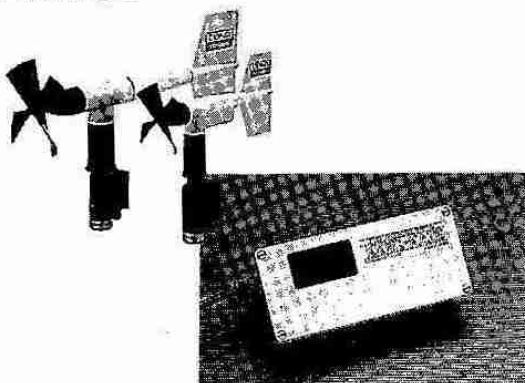
1. センサ先端から水面までの深さを記録する絶対水位測定モード。
2. 水位の0点を±30mの範囲で自由に設定できる、相対水位測定モード。相対水位測定モードでは、水位のエレベーション設定、量水機の直読値に合わせた測定、井戸などでの地面からの深さ測定などが可能です。もちろん専用のパソコンとソフトがなくても、測定現場でエレベーション設定はできます。



## 「風」計測システム

—KADEC®KAZE—

- ◆気象庁検定取得可能
- ◆演算結果を収録する方法なので、精度の高い観測結果を容易に入手。
- ◆ロガーとセンサの一体設計により、安定した実力を発揮。
- ◆電波や雷などのノイズに影響を受けづらい、各信号線ごとにシールドされている専用ケーブルを使用。
- ◆5秒ごとにサンプリングしており瞬間最大風速、移動平均（10分）風速を監視。メモリーを節約するため統計結果のみを記録。
- ◆風向は気象庁と同じベクトル演算。
- ◆風速に対する回転数が大きく、着雪に強い。



## 「温・湿度」計測システム

—KADEC®HTV—

### ■静電容量式の湿度センサ

応答性が早く、正確。0~100%の測定が可能です。

### ■白金測湿抵抗式の気湿センサ

4線式のセンサなので安定した正確なデータを得られます。

### ■楽々設置

専用のシェルターでセンサの設置が容易です。

### ■ノイズに強い

センサのハウジングがメッキ処理されているので、耐ノイズが向上しました。

### ■簡単データ処理

演算結果を収録する方法なので、制度の高い観測結果を容易に入手。抵抗-湿度、電圧-湿度へ自動的に換算されて記録しますので、データの処理が簡単にできます。



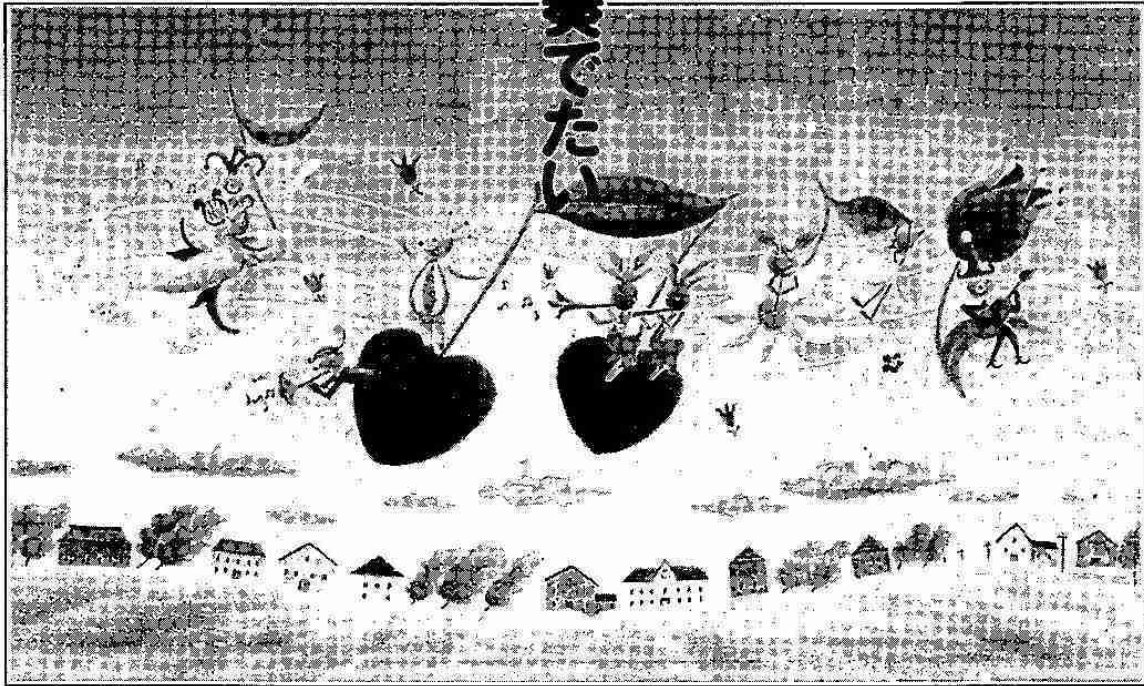
## コーナシステム株式会社

本社・営業部 / 〒004 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1丁目2番11号  
 TEL.011-897-8000 FAX.011-897-8001  
 東京支店 / 〒171 東京都豊島区池袋2丁目55番13号合田ビル  
 TEL.03-3983-8297 FAX.03-3983-8298  
 福岡営業所 / 〒814 福岡市早良区百道2丁目17番21号デグネス百道202  
 TEL.092-844-6371 FAX.092-844-6372





楽しい暮らし、奏でたい



## 人と街と北の明日のために。

北海道住宅供給公社は、長年にわたって、  
よりゆたかな、より快適な住環境づくりに努めてきました。  
人が求めているものは、時代の変化は、北海道の未来は…。  
そんな課題を解決しながら、皆さまといっしょに未来へと歩いていきます。

### 公社の4大事業

- 住宅の分譲（一戸建住宅・マンション）
- 賃貸住宅の供給
- 宅地開発・タウン再開発
- リフォーム その他



豊かな住まいづくりをめざす

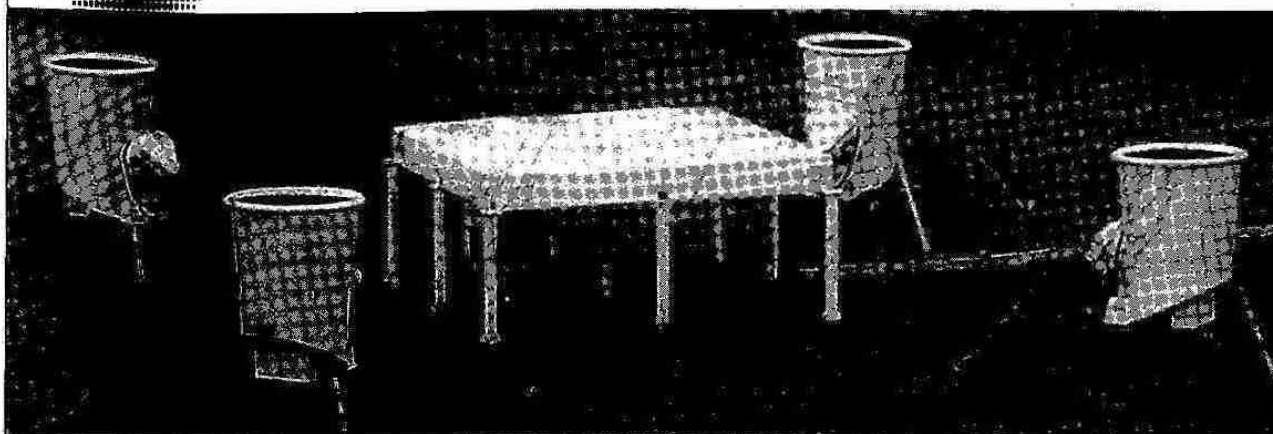
**北海道住宅供給公社**

札幌市中央区北3条西7丁目 植物園正門前 緑苑ビル3階 ☎(011)261-9271

メイセイのリモートセンシング観測システム

# 低層大気観測用レーダ

本装置は、財団法人日本気象協会殿の御発注により、通信総合研究所殿、及び気象研究所殿の御指導のもと開発した装置です。



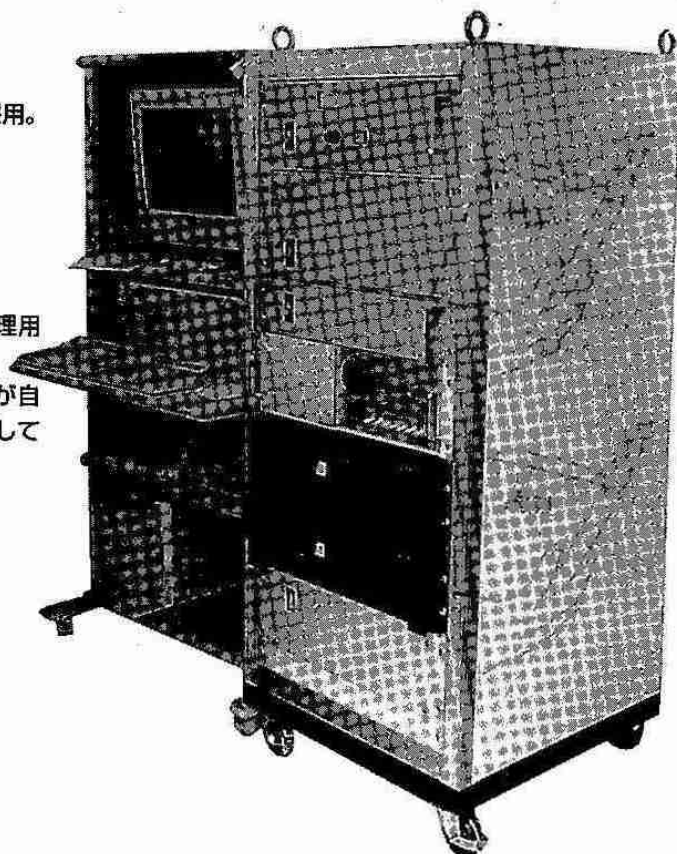
屋外機器全景 (空中線装置・送受高周波部装置・音波送信部)

## 特 徴

- ①フェーズドアレイアンテナ方式を採用。
- ②空中線電力1kwピーク・パワーは、空間合成方式を採用。
- ③測定高度をオーバーラップして観測できる。
- ④観測パラメータを観測開始前に自由に選択できる。
- ⑤風ベクトルと共に高度別温度分布が観測できる。
- ⑥観測データの遠隔伝送ができる。
- ⑦移動型。
- ⑧データ処理部はオンライン処理用とオフライン処理用の2組で構成。
- ⑨収録するデータを分岐することにより、ユーザーが自由に処理・解析できるようシステムの拡張性を有している。

## 概略性能

| 項目      | 性能                                |
|---------|-----------------------------------|
| 最大観測高度  | ~3km                              |
| 距離分解能   | 50、150、300m                       |
| 最小水平風速  | 0.5m/s以内                          |
| 周波数     | 1357.5MHz                         |
| ピーク電力   | 1kw                               |
| パルス幅    | 0.33、1.0、2.0μs                    |
| アンテナタイプ | フェーズドアレイ                          |
| ビーム走査方向 | 3.8m×3.8m 24×24素子<br>東15° 北15° 天頂 |



●お問い合わせは本社・第二営業部又は支店・営業所で  
 本社・第二営業部 〒112 東京都文京区小石川2-5-7  
 TEL (03)3814-5123~5127(ダイヤルイン)  
 FAX (03)3813-9774

札幌 ☎(011)726-5221  
 東京 ☎(03)3814-5120(ダイヤルイン)  
 中国 ☎(082)295-1188

東北 ☎(022)261-7361  
 中部 ☎(052)331-5735  
 九州 ☎(092)431-5531

北関東 ☎(0270)32-1005  
 大阪 ☎(06)367-8181  
 沖縄 ☎(098)863-7711



おしえます！ 本づくり、ノウハウ。

 **協善高速印刷センター**

札幌市手稲区曙2条5丁目2-48(手稲工業団地)  
TEL (011) 683-2231・FAX (011) 682-0583

.....切取り線.....

## 所属（住所）変更届

|             |     |
|-------------|-----|
| 旧所属・住所      | 〒   |
| 新所属・住所      | 〒   |
| 郵便物送り先      |     |
| ふりがな<br>氏 名 | TEL |

.....切取り線.....

日本気象学会北海道支部事務局 御中

平成10年度支部総会 委任状

◎ 総会の議決に関し、下記の出席会員（又は議長）に委任します。

出席会員名：

所属又は住所：

氏 名：

◎

.....切取り線.....  
送付先：〒060 札幌市中央区北2条西18丁目  
日本気象学会北海道支部事務局  
札幌管区气象台技術部気候・調査課内  
(TEL: 011-611-6121 内線415)



# 日本気象学会北海道支部 研究発表会申込み方法及び原稿作成要領

## 1 研究発表会申込みの方法及び期限

### (1) 申込み方法

申込み希望の方は、申込み期限までに発表題目・氏名（共同発表の場合は、発表者に○印）・使用機器（スライド・OHPの使用有無）を北海道支部事務局まで連絡すること。

### (2) 申込み期限

第1回研究発表会（5月20日必着）、第2回研究発表会（10月20日必着）。

（注）：平成9年度の第2回研究発表会は、日本気象学会1997年秋季大会（平成9年10月7～9日開催）の準備等の都合上、開催を中止する。

## 2 研究発表会原稿作成要領及び提出先

### (1) 原稿用紙

B4判（縦長・横書）に上下左右のマージンを1cm、2,000字詰（1行40文字・1ページ50行）の原稿用紙2枚を使用する。

この原稿用紙に書かれたものをそのまま写真でB5判の大きさに縮小して印刷する。したがって執筆者が書いた文字・図表はそのままの姿で印刷され、原稿用紙1枚が1頁となる。

この原稿用紙をB5判に縮小する割合は0.68なので、図表もこの比率で縮小されるので注意すること。

### (2) 原稿の記入

原稿の体裁を統一する必要から、最初の行の中央に標題（本文より大きい文字を書き、長い場合は2行にわたっても差し支えない）、1行あけて右側に氏名と（所属）を書く。（連名者が多い場合は、次の行にわたっても良い）。

本文は章だてとし、本文が7行目あたりから始まるように記入する。

原稿は1編を原稿用紙2枚に書き、なるべく余白を出さないように留意すること。

文字・図表などは、すべて黒インクで明確に記入する（ボールペンは不可）。

本文の文字はまず目一杯の大きさに記入する（和文タイプやワープロによる印字を希望します。）。

タイプやワープロの場合は、まず目や行にとらわれなくても良く、同じ大きさの白紙に打っても良い。

提出された原稿は編集印刷の際、用語・文字などの訂正が難しいので、原稿作成に当たっては十分に注意すること。読み難い原稿は書き直しをお願いすることもあります。

### (3) 図 表

図表はその大きさや、図表中の文字・数字の大きさ等について縮小の比率(0.68)を十分に考慮し、印刷したものが見苦しくならないように作成する。

原稿用紙に直接図表を記入するか、図表を貼付る。

グラフ用紙を使用する場合は、罫線が濃いものを使用しない。

図表には標題と説明文も付加する。

### (4) 提 出 先

原稿は必ず研究発表会当日会場へ持参し、支部事務局員に提出する。

原稿に使用した図や写真の返却を必要とする場合は、その旨お伝え下さい。

細 氷 №43

平成9年9月25日 印刷

平成9年9月30日 発行

編 集 日本気象学会北海道支部  
発 行

編集委員 三 浦 武

〒060 札幌市中央区北2条西18丁目

札幌管区气象台気候・調査課内

Tel (011)611-6121内線415

印刷所 高 速 印 刷 セ ン タ ー

〒006 札幌市手稲区曙2条5丁目

Tel (011)683-2231