

## 4. 南極のフィールドで感じたこと —地球環境を考える—

札幌管区气象台 岸 隆 幸

### 1. はじめに

皆さんは、「気象庁」からどんなことを連想されるでしょうか？ 日々の天気予報 警報、注意報 地震や津波の情報 アメダス ひまわり、最近では 竜巻注意情報などを連想しても「気象庁」と「南極」を結びつけて連想される方は、そう多くはないかもしれません。実は、気象庁は第1次隊からの南極観測隊に気象隊員を派遣しています。国際地球観測年という大規模な国際的学術調査への参加を契機として日本の南極観測が始まり、1957年に「宗谷」が南極に到達し、昭和基地が開設されましたので、もう50年も前の出来事になります。

それから現在まで気象庁は、気象定常観測を担当して、気象観測データを取り続けてきたのです。さらに現在では、地球環境に関する観測…オゾンや紫外線（紫外域日射）、大気混濁度や二酸化炭素、メタンなどの温室効果ガス濃度、様々な日射量（地表面が受ける熱量）や放射量（地表から空に放射される熱量）などの観測も実施されています。気象庁では、南極での観測データを含めて、気候変動などにかかわる総合的なデータの解析や調査、報告も行っているのです。

私は、幸運にも第33次隊と第39次隊の南極観測に参加させていただきました。今から16年前と10年前のことになります。第33次隊では、南極大陸の氷床をボーリングして約3000mの氷のコアを採取して、数十万年前からの古気候解析を行うという「南極氷床深層掘削計画」のオペレーションに参加する機会をいただきました。昭和基地から約1000km離れた氷床上の掘削地点（後のドームふじ観測拠点）を探査（アイスレーダーという測定器により、氷の厚さを測る）することを目的として、ルートワークと次年度からの基地建設計画の準備を行うというオペレーションでした。（第1図：南極大陸と日本の観測基地）

第39次隊では、オゾンホール拡大、深まりや紫外線量の増加、温室効果ガスである大気微量成分（二酸化炭素、メタンなど）の変化、日射量・放射量などの環境に関する観測に関わってきました。

地球環境を考えるうえで、南極観測や基地での活動はとても重要なことです。この2回の南極での体験を通して、私が感じたことをお伝えしたいと思います。

### 2. 雪上車が曲がらなくなる

「南極氷床深層掘削計画」のオペレーションは、私たち第33次隊が行ったルートワークと掘削地点の探査を初年度とした第1期計画では、第37次隊（1996）までに2503mの氷のコアサンプリングに成功しました。しかし、第1期計画では、地盤までのボーリングに至らなかったため、4年間の準備期間において、第42次隊（2001）から第48次隊（2007）にかけて、第2期計画が実施され、第48次隊までに地盤に達する3035mの氷のコアサンプリングに成功しました。この氷のコアの最深部は、過去72万年前の年代であることが判っていて、現在も国立極地研究所などで詳細な分析が進められています。

(第2図：ドームふじ観測拠点の氷床コアから分析された気温と二酸化炭素濃度の変化)

第33次隊の「ドーム旅行隊」は、9月下旬から12月下旬に渡って、7名の隊員が雪上車で移動しながらオペレーションを実施しました。私が乗り込んだのは、GPSを搭載した新車の大型雪上車 SM101で、快適な旅をしていましたが、出発してから10日目位に突然雪上車が曲がらなくなりました。雪上車の方向を変える方向舵（左右のレバーを引くことでキャタピラの回転を抑えて曲がる）の油圧ポンプの故障でした。私達は、外気温が約 $-30^{\circ}\text{C}$ で常に11~12m/sの吹く、強風帯の中にいました。剥き出しの肌を風に晒したままにすると恐らく数分間で凍りついてしまうという悪条件の中で、雪上車の下にもぐりボルトを外したり、故障箇所を探したりして、ようやく油圧ポンプを回す円盤と軸を留めるピンが抜け落ちたことが分りました。

予備の部品はないため、ガス溶接などを試みましたが、上手く修理できず、代用になる部品を必死に探しました。そして見つかったのです。そのピンの形状にピッタリだったのは、5、6本セットになっている棒ヤスリの内の1本の柄の部分でした。それからの作業は、あつという間でした。丁度塩梅の良い太さの場所を切断して、円盤と軸の溝に打ち込んで、さらにガス溶接をして打目押しをしました。雪上車を停めてから1日半程が過ぎていましたが、何と雪上車は以前のように簡単に曲がってくれるようになり、また内陸に向け走り出したのです。…が、しかし、初めにピンが飛んだ時に円盤と軸に傷がついて、隙間が大きくなっていたため、打ち込んだピンだけでは負荷が大き過ぎ、再びピンが脱落し雪上車は曲がらなくなりました。雪上車が動いてくれたのは、半日程でした。故障した雪上車を放棄して残りの3台の雪上車でオペレーションを続けるか、オペレーションそのものを断念するかという決断が迫られるなか、「油圧ポンプでは圧力を6倍にしているので、6倍の人力で引けば良い」という国内からの指示が昭和基地から伝えられたのでした。現場にいない人の言葉というのは、冷たいものだなと思いましたが、やってみるとコツを覚えて、それなりに雪上車の方向が変えられるようになり、オペレーションを続けることができたのです。

この時のように悪条件下での長時間にわたる作業は命取りになりますから、7名のメンバーが5分位で交代して、作業を進めましたが、全員が凍傷を負いました。中でも私の鼻はダメージを受け、その時行動を共にしたドクターは、日に日に黒くなっていく私の鼻を見て、鼻が取れてしまうのではないかと思ったということの後から聞かされました。雪上車は半日でまた曲がらなくなりましたが、この時に7名のメンバーが生み出した可能性を感じて、このオペレーションが絶対成功することを実感したのでした。今でも、よく晴れた真冬の朝の冷気を吸い込むと私の鼻の頭はピリピリ痛み、あの時の南極を思い出します。

### 3. 雪上車の排気ガスが雲を作る

ドームふじ観測拠点は、標高約3800mの高地にあります。高地といっても険しい山岳にあるわけではなく、緩やかな起伏を持った、見た目には見渡す限りの雪原なのです。南極大陸の内陸部には、海洋上で発生した低気圧もなかなか入って来られないため、晴れていることが多く、放射冷却によって地表付近が非常に低温になります。冷やされて重くなった空気は、周囲より標高の低い所に溜まり、その冷気は次第に大陸の沿岸に降下してゆくのです。

私たち7名が経験した最低気温は $-64.5^{\circ}\text{C}$ でした。目的地を目前に控えた標高約3600mの地点でした。凍傷になった鼻がピリピリして、吐く息がサワサワと小さな音をたてて凍ります。純粋な水蒸気は $-40^{\circ}\text{C}$ 位まで凍りませんが、南極の内陸部に積もっている雪は、ほとんどが真っ青な空から降るダイヤモンドダストです。

北極では、これを「天使の囁き」と言うそうです。(第3図 昭和基地(第39次隊)とドーム観測拠点(第38次隊)の最低気温)

気温が下がった冬の朝、吐く息は白くなりますが、空気が綺麗な所では吐く息が白くならないことをご存知でしょうか? さすがに気温が $-40^{\circ}\text{C}$ より低くなると純粋な水蒸気も凍りますが…。南極では、建物や雪上車の風下では核になる塵が発生して、吐く息が白くなりますが、その風上側では白くならないのです。私たちは日常の中で気温が下がれば吐く息は白く見えるものだと認識していますし、それが当たり前のことですが、実は南極の自然の中にあつては、それは摂理に反することなのです。

目的地に近づいてきた風の穏やかなある日、私は雪上車の排気ガスが延々と雲になって浮遊するのを見ました。雪上車から排出された排気ガスは10m程上空に上がりますが、冷やされてそれ以上は浮力を持ってなくなるため、その高度に浮遊するのです。排気ガスに含まれている十分な水蒸気と核になる塵が、雲をつくり4台の雪上車から4筋の雲が延々と伸びる光景を目の当たりにして、自分たちの存在が、大陸に比べてこんなちっぽけなのにこれほど環境に影響するののかと感じました。観測をするためとは言え、自分たちが自然を汚染していることに改めて気づき、複雑な思いをしました。そして、自然が無垢だからこそ判る事実を実感しました。

#### 4. 地道に高い精度のデータを得ることの重要性

1982年、第23次隊に気象庁から宙空観測の研究のために南極観測隊に参加していた忠鉢繁隊員は、極域中層大気総合観測の一環でオゾン総合観測を実施していました。9月4日の夜、前日に引続き月光観測(※1)を実施しましたが、この日のオゾン全量(※2)の値約240m atm-cmは、前夜の観測に比べ著しく低く、例年の値に比べても著しく低かったため、はじめは、観測に使用しているドブソン分光光度計のトラブルを疑いました。大気の厚さに対して、オゾンの厚さは極薄く、非常に高い精度が要求されることから、厳しい品質チェックを行いました。今になってみると、測器のトラブルなどではなく、南極オゾンホールが発見に貢献した非常に重要な観測だったのです。

昭和基地におけるオゾン全量観測は、1961年の第5次隊が試験的に開始し、1962～1965年の基地閉鎖、1973年の器械整備のために欠測した期間を除いて、連続して実施されています。オゾン全量観測は、1年を通して、ほぼ一定の太陽高度角になる時間に観測を実施したり、太陽光に加えて月光による観測を行って、でき得る限り高い精度の観測値を維持し、より多くのデータを得るために力を注いできたのです。一つ一つのデータは、その瞬間の状態(環境)を示していますが、全てのデータを集約して検証することで、経年変化をはじめとする多くの事実が解かってくるのです。(第4図 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化)

※1: 通常は、太陽直射光および散乱光により観測を行います。太陽高度が低くなる時期は、月光を利用した観測も行います。

※2: 全ての大気を $0^{\circ}\text{C}$ 、1気圧の標準状態に圧縮したときの大気の厚さは約8kmになります。この時のオゾンの厚さをオゾン全量といいます。オゾンの厚さが2.4mmのときのオゾン全量が240m atm-cmです。

#### 5. 昭和基地の消費(賞味)期限

第33次隊では36名、第39次隊では39名の隊員が越冬をしました。それぞれ約半分の隊員が何らかの観測や研究を担当します。観測以外に従事する隊員は、国などの機関の設備を担当している職員

や各企業からも派遣され、基地の維持、運営に欠かせない重要な仕事を担っています。発電機や配電、車両の整備、建物や施設の維持、管理、廃棄物の処理、通信や医療、調理など国内の日常でもなくてはならない生活に密接に関係した職種のエキスパート達です。その隊員たちが担当する職種についての専門的な能力は、それぞれが非常に優れていますが、昭和基地という大きな施設の維持には、専門的な能力を下支えする作業のための人手が必要です。そのため、観測や研究に携わる隊員も基地の運営、維持にあたる作業に毎日のように加わっています。

昭和基地には、その隊で利用する食糧を持ち込む他に非常用の食糧が備蓄されています。そのほとんどは冷凍することで長期保存が可能ですが、食感や彩を添える生鮮食品は、1年の越冬生活を支える特に大切な食糧です。しかし、生鮮食品は長期保存ができないため、そのほとんどは半年が過ぎる前になくなっていくます。

第39次隊では、越冬開始から87日目の4月28日に550kgのキャベツの腐敗した皮を取り除く作業を行いました。腐敗してとけてきた皮を丁寧に取り除き、芯に灰をまぶして新聞紙にひとつづつ包んで詰め直す作業です。この後にも2回目の皮むき作業を行って、大切に食べていましたが、ついに8月に品切れになりました。玉ねぎも同様の作業をしました。ダイコンやニンジンも越冬開始から4ヶ月ほど、卵は182日目に品切れになったのです。

もうお解かりですね。昭和基地には「賞味期限」というものはありません。何か物が食べられなくなるということは、それが腐るか品切れになるということなのです。生野菜がなくなって半年以上後になる12月、次の隊が運んでくれた玉ねぎを薄くスライスして、シャキシャキとした食感を食べるように食べたのを鮮明に記憶しています。

## 6. 地球環境のこと

2007年11月、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書統合報告書が公表されました。その要旨には、「観測結果から見ると、気候システムの温暖化は疑う余地がない。」ことや「20世紀半ば以降の気温上昇は、人間活動による温室効果ガス増加でもたらされた可能性がかなり高い。」ことが明記されました。

観測結果の事実を見てみると世界の平均気温は、最近の100年間で0.67℃上昇し、日本の平均気温は、都市化の影響が少ないと考えられる観測地点を17か所選んで調べたところ、最近の100年間で1.07℃上昇しています。また、世界の平均海面水温は最近の100年で約0.5℃上昇し、日本の周辺海では約0.7℃～1.6℃上昇しました。また、オホーツク海の流氷は減少傾向にあります。北極海の海氷の面積も2007年9月に観測史上最小になりました。(第5図 日本の年平均気温の経年変化)(第6図 世界の平均海面水温の経年変化と日本付近の年平均海面水温の100年あたりの上昇率)

産業革命以前の大気中の二酸化炭素濃度は、約280ppmで一定でしたが、産業革命以降の工業の発展に伴う化石燃料(石油や石炭など)の消費量増加により、近年では急激に増加し、約380ppmに上昇しました。日本の二酸化炭素排出量(2005年)は、アメリカ、中国、ロシアに次いで4番目に多くなっています。日本人1人当たり毎日11kgの石油を燃焼している換算になります(出典:EDMC/エネルギー・経済統計要覧2008年版 全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト(<http://www.jccca.org/>)より引用)。都道府県別の1人当たりのエネルギー消費量は、北海道が全国で1番多くなっています。冬期間の暖房や都市間の移動に車を利用するためだと推測されています。(第7図 二酸化炭素濃度の経年変化)

このような事実を基にIPCCでは、経済の発展の仕方や様々な生活スタイルなどにより、いくつかの



シナリオに沿った予測を行っていますが、いずれのシナリオにおいても、気温が上がり、海面水位が上昇することが予測されています。それぞれのシナリオで変化の傾きが異なっていますが、それらの変化によって、低気圧の巨大化、水害の増加、干ばつ地域の拡大や蚊を媒介とするマラリアやテング熱等の拡がりなど、歓迎できない多様な影響が考えられています。また、自然というのは人智の及ばない偉大なものだと思います。一番怖いのは、予測不能な事態があり得ることなのです。(第8図 世界平均地上気温の予測と温室効果ガス排出シナリオ) (第9図 2090-2099年の海面水位の予測)

## 7. 私たちの生活環境と向き合う

2008年の年始、新聞やテレビなど多くのマスコミが地球環境のことを取り上げていました。私は、1月4日にテレビ朝日系で放送された「地球危機2008」という番組を視聴しました。この番組では、地球環境の変化を伝える一方、コンビニの「幕の内弁当」を題材として、私たちの身近な生活にも焦点を当てていたのが印象に残っています。

コンビニでは、毎朝10:00に商品化後10時間を過ぎた弁当が廃棄されているそうです。ある幕の内弁当には、20種のおかずが入っていますが、国産品は5種類でした。【鮭】の産地はデンマーク、日本までの距離は、22,000kmです。【鶏】の産地はブラジル、日本までの距離は23,700km、いずれも船で輸送しています。【レタス】はカリフォルニア州から8,300kmを空輸(船の37倍の二酸化炭素排出)され、【インゲン】は7,800km離れたオマーンからのものでした。幕の内弁当の輸入食材を輸送するための総距離は、地球を4週するほどの距離にあたります。

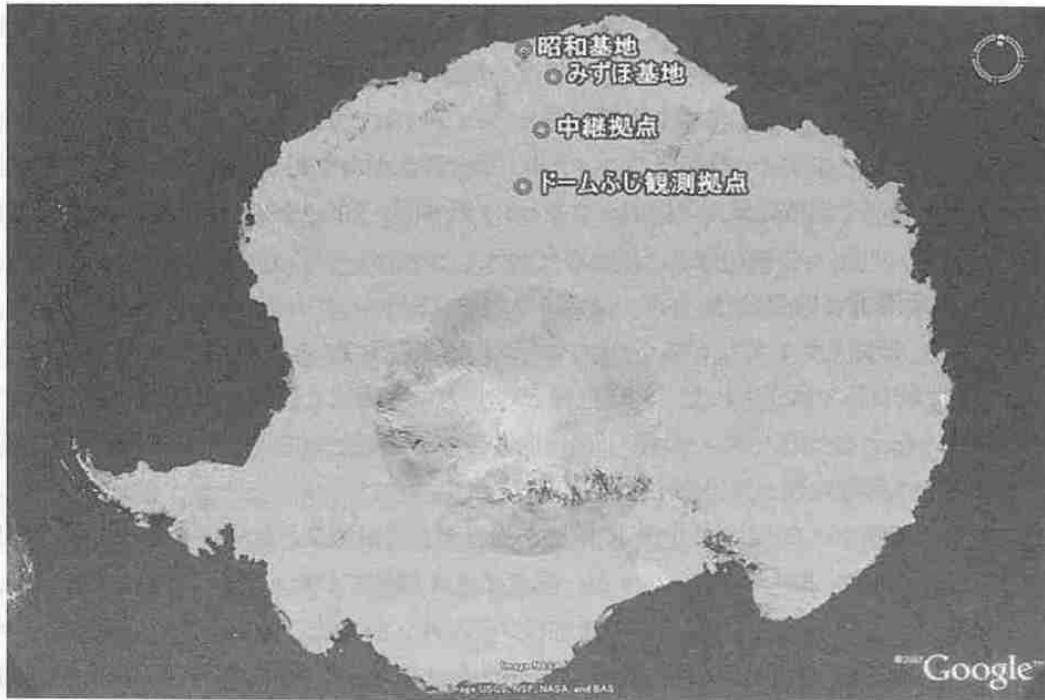
昭和基地で生鮮食品に飢えて…とても大切に最後のひとかけらまで利用した経験のある者にとって、また、これだけのエネルギーを消費して、食材が廃棄されていく事実を知ると大きな矛盾を感じざるを得ませんでした。私たちは果たしてどれだけの感謝を持って、この食材を口にしているのでしょうか？

ハウス育ちのキュウリには、路地ものの5倍のエネルギーが使われ、自動販売機は保温・保冷・照明などで、一般家庭1.7件分の電力、24時間営業の店舗は、一般家庭の50件分以上の電力を使っているそうです。何不自由なく暮らせる現在の生活水準を後戻りさせることには、大きな抵抗があると思いますが、そろそろ現実を知り、次に何をするのかを考える時なのだと思います。

## 8. おわりに一大問題と折り合うために

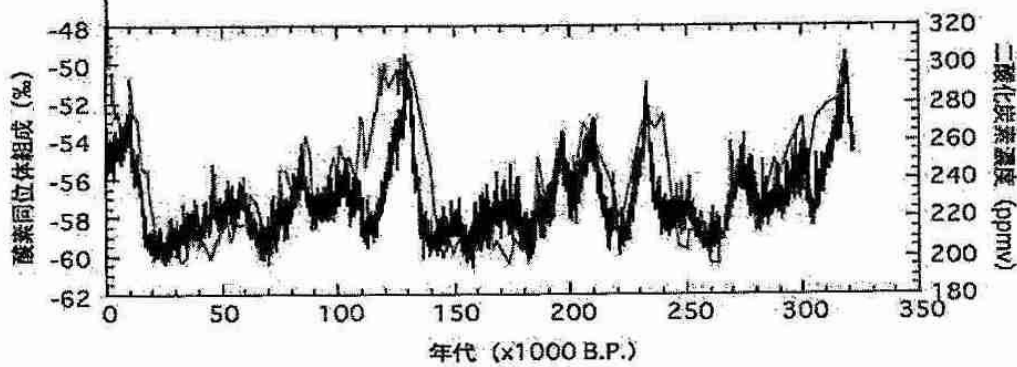
地球温暖化の影響がIPCCの予想の通りに起こると仮定すると、その影響は計り知れませんが、その一方でどの程度のことが起こるか、私たちは正解を持ち合わせてはいません。私たちは、正解のわからないこの大問題にどのように向き合っていくべきなのでしょう？

温暖化という問題は一度起こると、その影響は人類の生存に関わるほど重大で、それは不可逆的(元に戻ることは出来ない)な影響を持っています。かつて、私たちは地道に蓄積したデータに基づいてオゾンホールを発見し、オゾン層破壊物質を特定し、規制してきました。その効果により、近年では南極オゾンホールの拡大や深まりの度合いが鈍っていることが確認されており、危機的な状況を回避することができたのです。私は南極で、限られた人と物でも、同じ方向を見て手足を動かすことで、無から無限の可能性が生まれることを実感しました。温暖化の問題も多くの皆さんが、温暖化の事実を知り、その影響を回避する可能性を見出すように考えることを求められているのではないのでしょうか。



第1図 南極大陸と日本の観測基地

### 過去32万年の気温、CO<sub>2</sub>変化



\*地球は、完新世の温暖ピークを過ぎ氷期に向かいつつある。

\*CO<sub>2</sub>は、過去32万年で経験のない高濃度になっている。

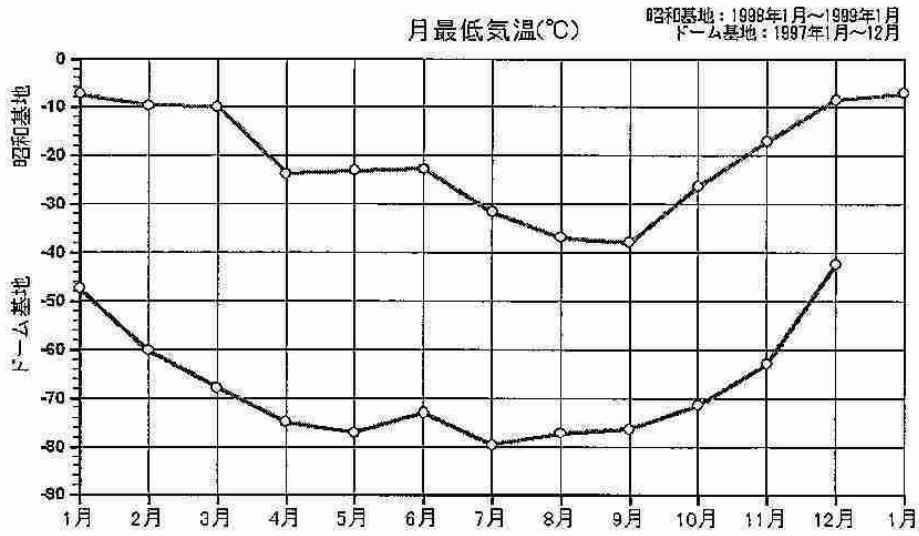


### 地球は温暖化、寒冷化どちらに向かうのか？

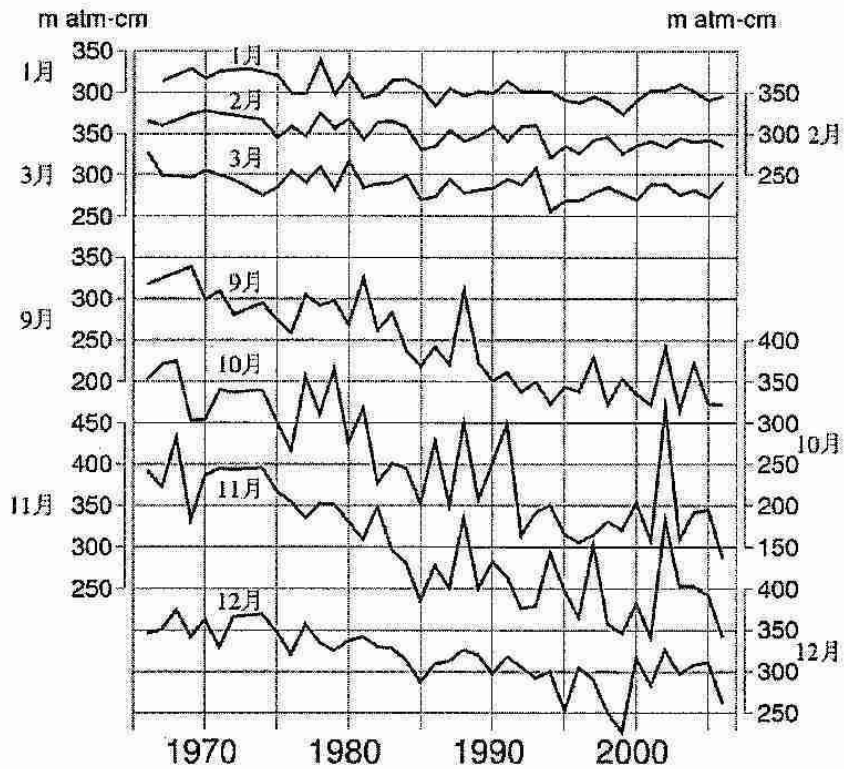
第2図 ドームふじ観測拠点の氷床コアから分析された気温と二酸化炭素濃度の変化

細かい振幅のある線が気温の変化（左軸表示：「酸素同位体組成」とありますが、気温と同値）

細かい振幅のない線が二酸化炭素濃度の変化（資料：国立極地研究所）



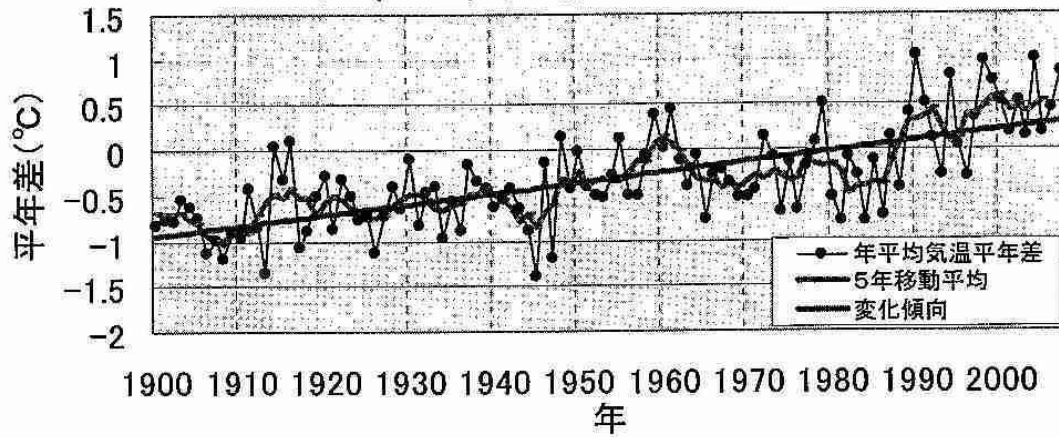
第3図 昭和基地(第39次隊)とドーム観測拠点(第38次隊)の最低気温



第4図 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化

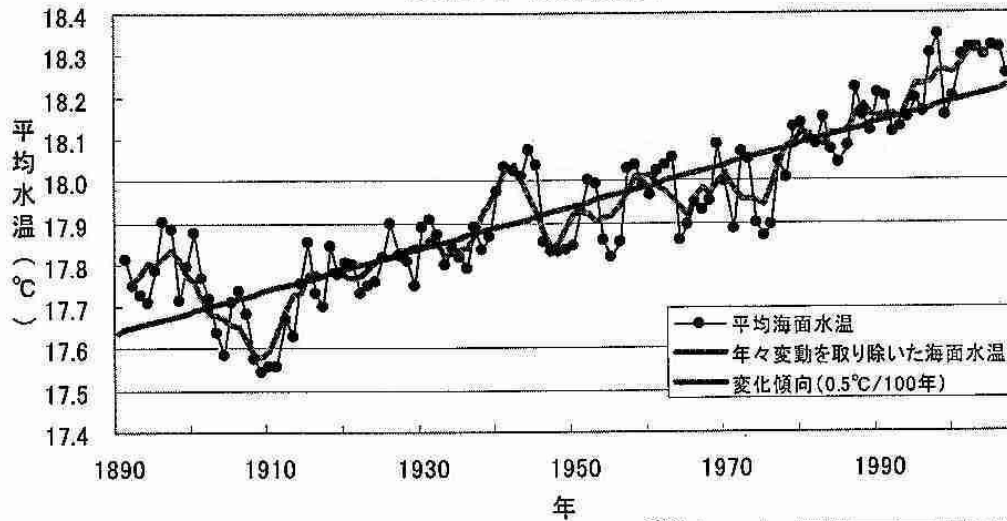
1980年前後から、南極の春先にあたる9~11月のオゾン全量の現象が著しい。

### 日本の年平均気温の平年差

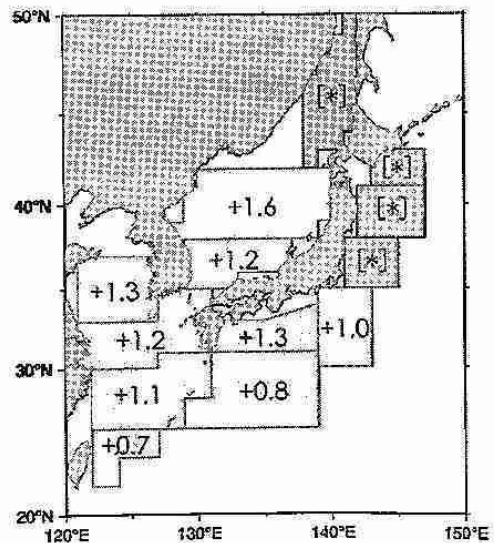


第5図 日本の年平均気温の経年変化

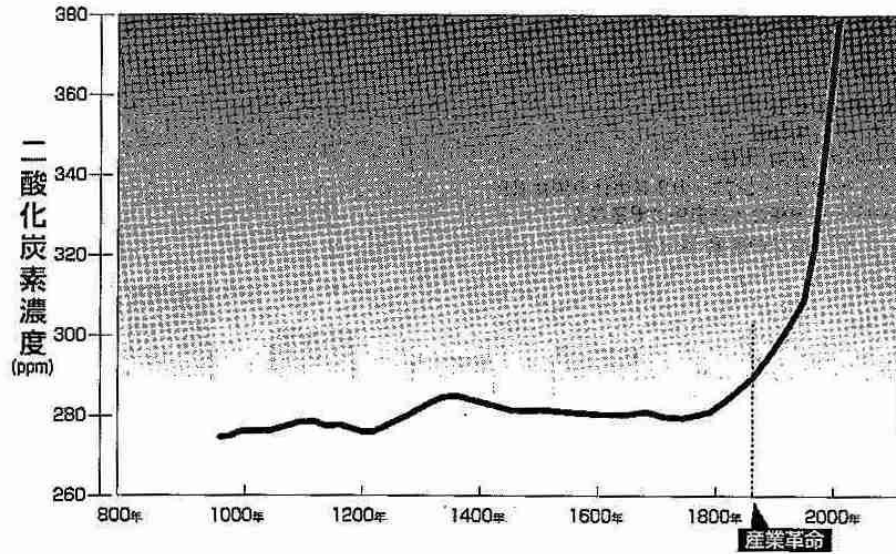
### 世界の平均海面水温



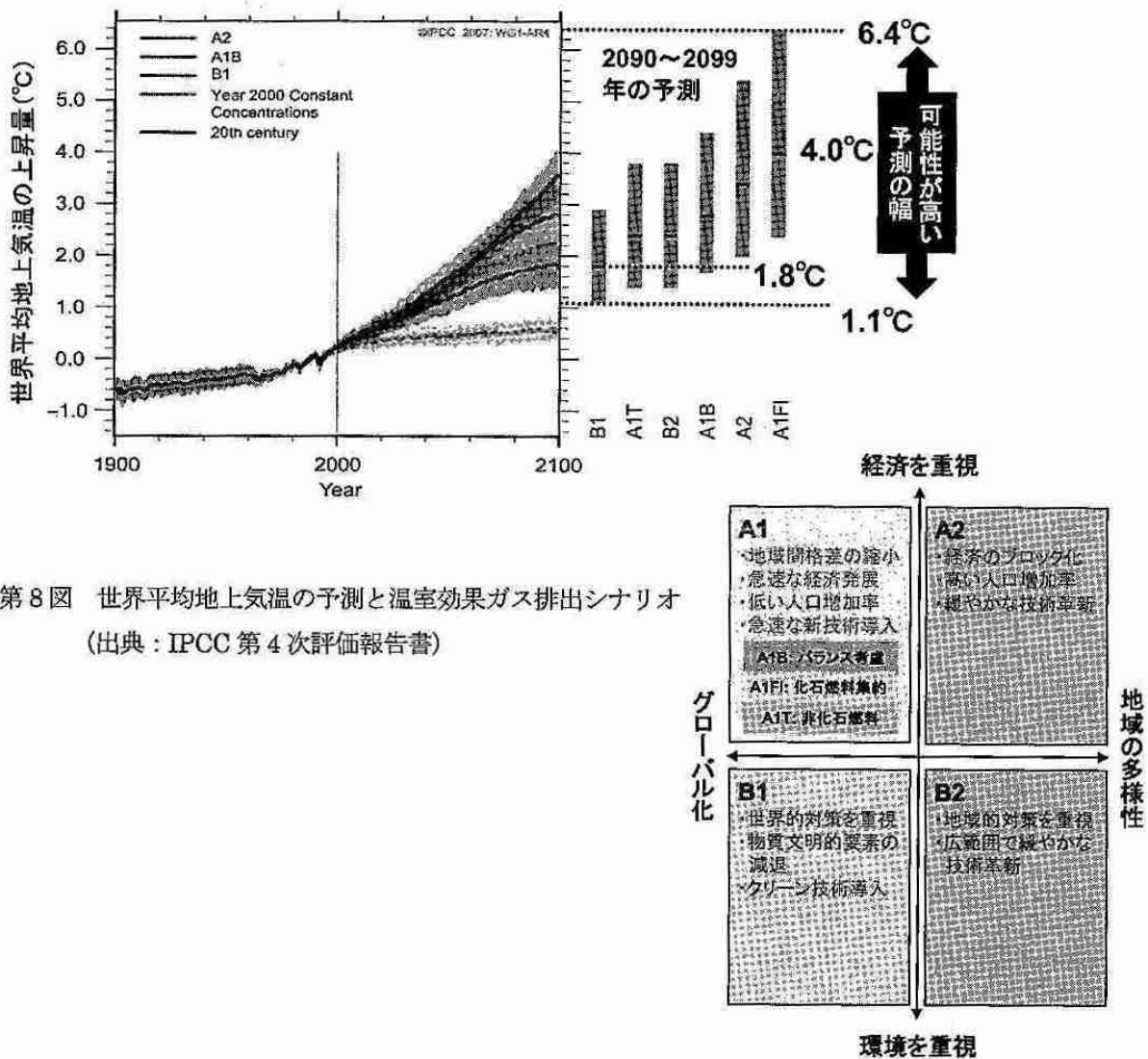
第6図 世界の平均海面水温の経年変化と日本付近の年平均海面水温の100年あたりの上昇率



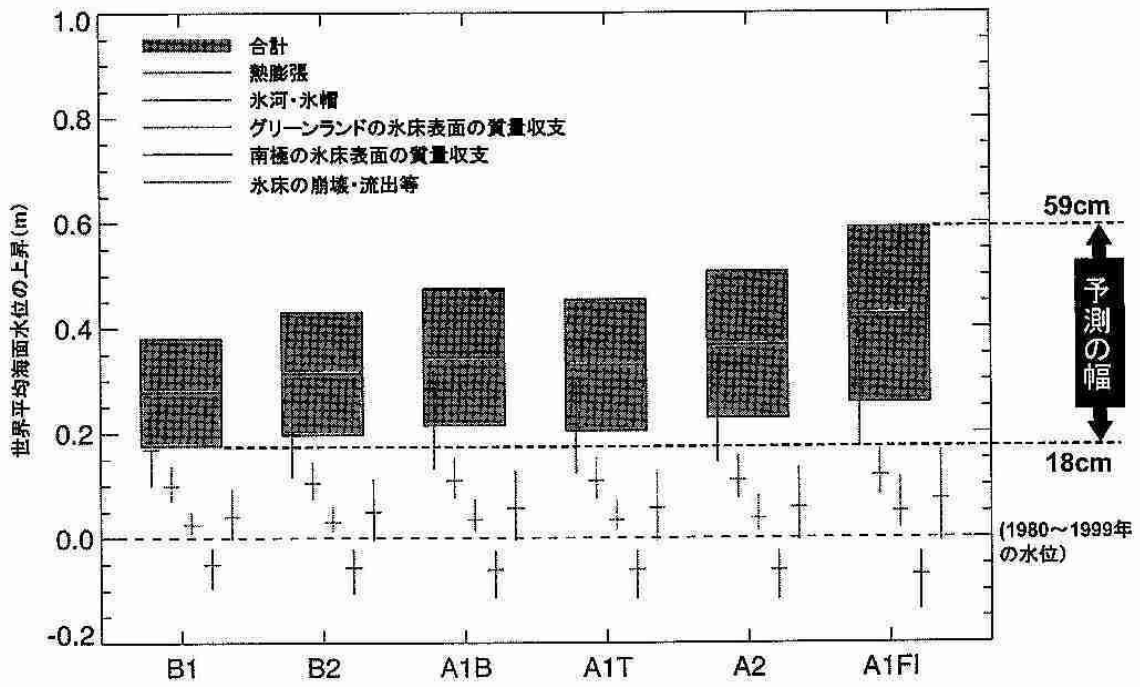




第7図 二酸化炭素濃度の経年変化



第8図 世界平均地上気温の予測と温室効果ガス排出シナリオ (出典：IPCC 第4次評価報告書)



第9図 2090-2099年の海面水位の予測 (出典: IPCC 第4次評価報告書)

