

3. 天気は変えられるか！？

～人工降雨・降雪で水不足克服！？～

日本気象協会北海道支社 久保田 敬二

1. はじめに

みなさんに、「イベントや行楽の時に望む天候は？」と質問をしたら、恐らくほぼ全員が「晴れて穏やかな天候」と答えるのではないのでしょうか。また、天気を変えられたらどんなに良いだろうかと思ったことも誰にでもあるのではないのでしょうか。

冗談はさておいて、国連は2025年までに世界の2/3の人口が水不足に直面すると指摘しています。日本でも渇水が10年に2～3回発生しており他人事ではありません。今後、地球温暖化が進むと少雨・渇水や豪雨・洪水などの現象が起こり易くなることも指摘されています。安定的な水資源確保と渇水対策のため、人工降雪・降雨の技術確立が必要不可欠で急務となりつつあります。

8月には北京オリンピックが行われますが、本講演では、オリンピック開会式を前に行われる予定の人工降雨を利用した天候調節方法と原理、効果や弊害を紹介するとともに、地球温暖化で引き起こされる気候変化に人工降雨が役に立てるかについてもお話をしたいと思います。



写真1 左：2007年8月24日 日刊スポーツ 右：2008年4月22日 読売新聞

2. 北京オリンピックと人工降雨

図1と図2に示すように北京オリンピックが実施される8月の北京の降水量は160.4ミリと7月に次いで2番目に多い。月平均気温は24.9℃と東京の27.0℃に比べると低いが、札幌の22.0℃に比べると3℃も高くなっています。雨の降りやすい季節に行う開会式を晴天で迎えるため人工降雨を応用し、“人工消雨作戦”を予定していると報じられています。人工降雨で開会式直前に雨を降らせ、雲を消散させ、開会式を快晴で迎えようという中国人らしい大胆な発想です。「雨降って地固まる」ではなく「雨降らせて地固まらせる」と表現すれば良いでしょうか。前ページの読売新聞の記事では、人工降雨により4月20日に31ミリの雨を降らせたと報じています。また、気温も前日より10度以上も下がったということから、暑さを抑制する効果もあるかもしれません。

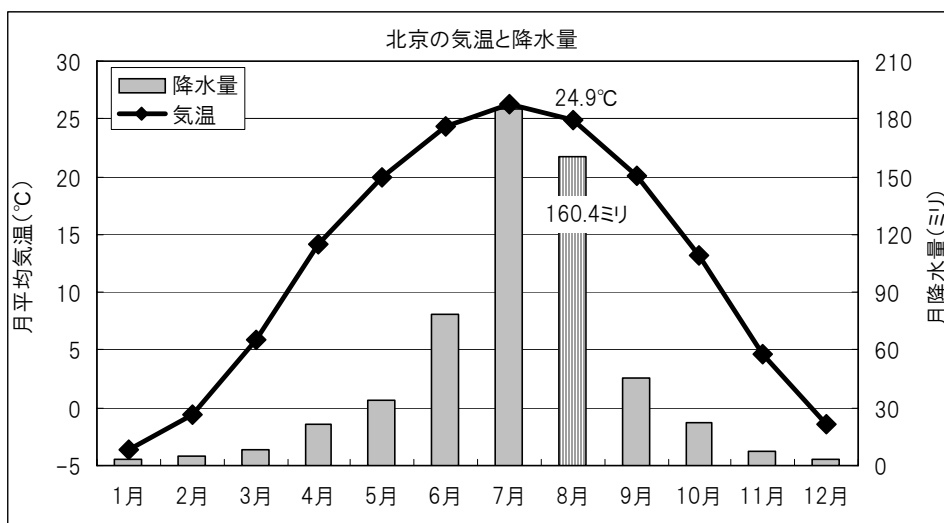


図1 北京の気温と降水量

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均・合計
北京	気温(℃)	-3.6	-0.6	5.9	14.2	19.9	24.4	26.3	24.9	20.1	13.2	4.7	-1.4	12.3
	降水量(ミリ)	2.9	5.3	8.3	21.4	33.7	78.6	185.5	160.4	45.8	22.1	7.8	3.4	575.2
札幌	気温(℃)	-4.1	-3.5	0.1	6.7	12.1	16.3	20.5	22.0	17.6	11.3	4.6	-1.0	8.5
	降水量(ミリ)	110.7	95.7	80.1	60.9	55.1	51.4	67.2	137.3	137.6	124.1	102.7	104.8	1127.6
東京	気温(℃)	5.8	6.1	8.9	14.4	18.7	21.8	25.4	27.1	23.5	18.2	13.0	8.4	15.9
	降水量(ミリ)	48.6	60.2	114.5	130.3	128.0	164.9	161.5	155.1	208.5	163.1	92.5	39.6	1466.7

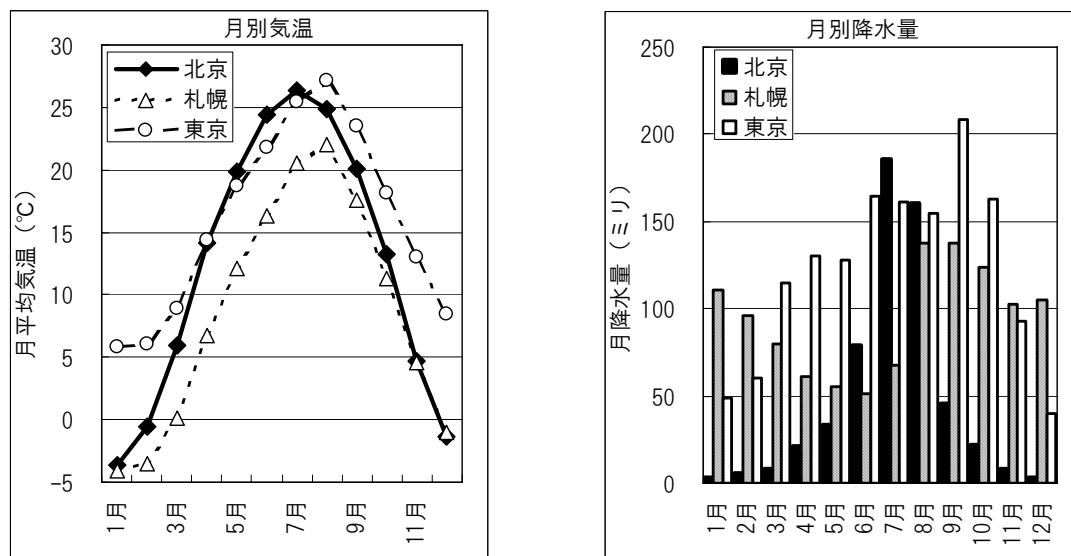


図2 北京・札幌・東京の気温と降水量比較

3. 雨の生成と人工降雨の原理

では、どのようにして雨を降らせるのでしょうか？人工降雨の原理を説明する前に雨の生成についても触れておきたいと思います。

雨の生成

雨は、熱帯地方では例外もありますが、通常は -15°C 以下の低温の雲の中で発生した氷晶が昇華核となって周囲の水蒸気を吸収し雪片となり、雲中を落下して成長しながら、暖候期には途中で溶けて雨粒となって降ります。つまり、雨を降らせるには雲の中に氷の粒を作る必要があります。その氷晶を作るのは空気中に浮かぶ微小な粒子で、海上では海の波しぶきで吹き上げられた塩の核、陸上では砂塵などの粒子が主なものです。それらの核の周りに、雲の中の水蒸気が昇華と低温の影響で氷となって付き、成長して雪片となるのである。

人工降雨の原理

人工降雨はアメリカの物理学者・化学者アーヴィング＝ラングミュア博士の創案によるもので、1946年に初の実験が行なわれました。

雨が降るには核になる粒子と低温の雲が必要ですが、ある程度発達した積雲や層積雲の上部では温度は 0°C 以下になっているものの、 -15°C くらいになるまでは、過冷却水と呼ばれる水滴のままで、雪片の形成に至らず雨は降りません。そこへ、強制的に雪片を作るような物質を散布してやれば雨を降らせる可能性ができるわけで、これが人工降雨です。この方法は、クラウドシーディング（Cloud seeding、雲の種まき）、または単にシーディングと呼ばれます。

散布する物質については次のページで紹介します。散布の方法は、図3のように飛行機を用いる他、ロケットや大砲による打ち上げもあります。ヨウ化銀の場合は、地上に設置した発煙炉から煙状にして雲に到達させたりします。

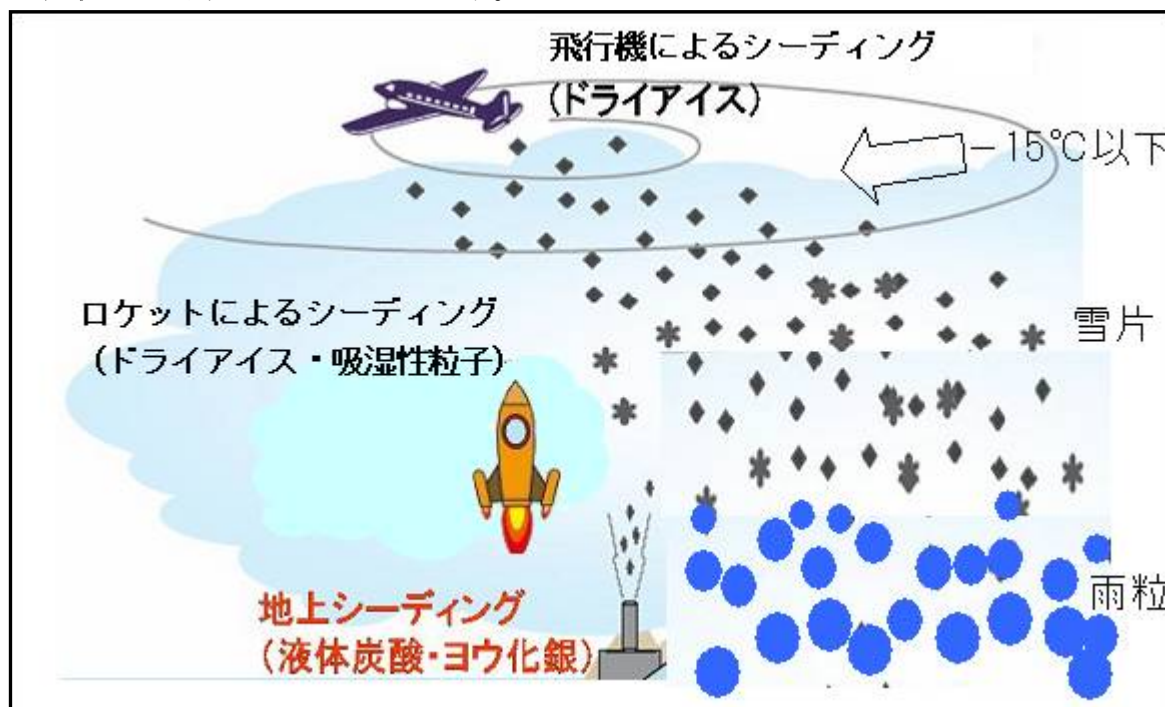


図3 人工降雨・降雪の原理（シーディングとは種を播くという意味）

4. 人工降雨の方法と課題

(1) ヨウ化銀法

方法：ヨウ化銀法は、図 4（上）に示すように、沃（ヨウ）化銀を高温炉の火炎中で蒸発させて凝縮発生する微小粒子を、地上または上空から高層の雲に送り込んで、ヨウ化銀を氷晶核とする氷の結晶（氷晶）を形成させ、降雨、降雪として地上に落下させる方法です。

課題 1：過剰に多くの氷晶が発生し、結果的に氷晶の多くは雲の上層部の狭い範囲内で、互いに限られた水分を奪い合い氷晶の成長が著しく制限されます。小さいままの氷晶の多くは、軽いために重力に逆らって落下することなく、降水に寄与しない可能性が大きい。人工的に発生した氷晶のほとんどが無駄になり、水資源を得るほどの増雨効果は望めません。

課題 2：ヨウ化銀は弱い毒性を持ち、またヨウ素と銀の化合物である。化学的環境汚染物質として多くの場合、動植物に好適な効果よりも害的影響の方が大きい問題があります。

(2) ドライアイス法

方法：ドライアイス法は図 4（中）に示すように、数 cm の大きさに砕いたドライアイスの欠片を航空機で雲頂よりも上空から雲に撒布する方法です。

課題 1：ドライアイスは鉛直下方向に氷晶を発生させながら落下する。氷晶は、その成長による潜熱発生のため、上昇気流が誘起され氷晶群は、上方へ移動します。この際、周囲との浮力が氷晶群を含む鉛直方向の雲気柱全体に作用するため、氷晶群は急激に上方に輸送されます。そのため、氷晶群が周囲に拡散する効果が低く、限られた水滴を奪い合い、氷晶の成長は制限されます。従って、降水になる氷晶は、雲気柱から離れて成長する氷晶だけとなります。

(3) 液体炭酸法

方法：図 4（下）に示すように、雲の底部近くの氷点下の気層に航空機で液体炭酸を水平直線状に撒布します。その結果、液体炭酸の強い冷却効果（約-90℃）により、氷晶核を必要としない均質凝縮凍結ニュークリエーション現象（急冷によって発生した微水滴が凍結するプロセス）が起これ、氷晶が瞬時に発生し、その後の幾つかのフィードバック機構（雲物理過程と雲力学過程の相互作用）によって人工的に降水を起こさせます。

課題 1：氷点下（-8℃以下が適当）の雲に撒布することが重要です。従って、夏季の高温期、暖候期には氷点下の上空まで上昇させる必要がある。

課題 2：ドライアイス法と同様、上昇気流のため氷晶は十分成長しないうちに雲頂に達し、落下しないで消散する可能性が高い。また、積乱雲内では強過ぎる上昇気流をどのように避けて撒布するか、さらに上昇気流内では雹も存在するため、航空機の安全性確保の課題では大型機を使用するなど、実用化には技術面のみならず運用面も十分検討する必要があります。

(4) 散水法

方法：散水法は、雲頂の温度が氷点下の雲が存在し、その内部で、直径が約 30 ミクロン以上の比較的大きい雲粒が不足している場合に適用可能です。航空機で水を撒布することで、水滴間の衝突・併合を促進し、比較的大きな雨粒子・雨滴に成長させます。（図は略）

課題：下層空気が乾燥している場合には、空中で蒸発してしまい、地上に達しない現象も起こり得ます。航空機で多量に散水しなければ、十分な水資源が得られない可能性もあります。従って、費用や運用の面および・降水効率の面から十分な検討が必要です。

5. 人工降雨の実例

水不足や旱魃などの対策が最も一般的で、世界各地で実施されており、日本でも、1964年夏に東京を中心とする関東地方で記録的な水不足が起きた際、水源地付近で実施された事が知られています。日本では、1950年代から70年代にかけて、渇水対策や水資源確保、水力発電用の水確保を目的に、各地で実験が行われました。実例をいくつか以下に紹介します。

実例1（国内：）

実験は北部九州の玄界灘上空で自衛隊機を利用して3回実施されました。糸島半島の北約15～20kmにあった薄い雲が対象とされ、西高東低の冬型気圧配置で、厚さは薄い約1000mの積雲でしたが、9時17～19分の約2分間に南から北北西に撒布しました。図5のように、液体炭酸撒布の25分後には周辺の雲より幾分盛り上がる状況が観測され、約1時間後には背振山地に明確な降雪・降雨域が観測されました。佐賀県では実際に地上で少量の雪が、福岡県と佐賀県では霰が観測されました。降水量は1時間当たり1mmでした。その周辺には降雨域は観測されていないにもかかわらず、人工降雨域では顕著であり降雨密度も高くなりました。特に、この時の降雨の特徴は、撒布雲の厚さが従来、降雨が期待できる最低とされていた雲厚2000mの半分程度であり、まさに背振山地の斜面上昇気流に起因する凝結の効果が加わったためと判断されます。このように、自然の山による斜面上昇気流の利用は有効であり、地形的な効果の加算は大いに利用可能です。特に冬季、寒候期では氷点下の低温が大きい影響を及ぼし、実験は有望と判断されます。今回の3回の実験では1回当たりの降水は20～100万tの降水量に相当し、多くの水量が確保できることが確認されています。



図5 九州玄海灘における人工降雨実験
(渇水対策・沙漠化防止に向けた人工降雨法の推進、2008年1月より)

実例 2 (海外)

中国気象局の鄭国光局長は 11 日、中国で航空機やロケットなどを使ったヨウ化銀の散布により、昨年 1 年間に計 300 万平方キロメートルの地域で計 500 億立方メートルの人工的な雨を降らせたことを全国気象局長会議で明らかにした。中国の華僑向け通信社、中国新聞社が伝えた。

慢性的な水不足に悩む中国では人工降雨技術が日常的に使われている。昨年は全国 21 の省・自治区・直轄市で人工雨を降らせ、航空機による散布が約 18500 回、ロケットは約 48000 回、使われた砲弾は 86 万発に達した。

(産経新聞の記事(2008 年 1 月 11 日)より)

6. 人工降雨を取り巻く問題

費用対効果

人工降雨実験は費用が掛かるが、それに対してどのくらい有益な効果があるかの費用対効果が問題になります。真水を造水する費用は、例えば福岡市にある海水淡水化装置を利用する方法では、230 円/t である。一方、ドライアイス法は 20 円/t であり、液体炭酸法では 0.2 円/t であるとの試算結果がある。すなわち、ドライアイス法と液体炭酸法では 100 倍の、海水淡水化装置法では 1000 倍以上の価格差となります。淡水化装置建設費や人工降雨法による降水からの実利用水への有効利用率低下などの問題があり、直接比較は難しいが、歴然とした価格差があると考えられます。従って、多量の水を必要とする農業・工業用水の観点から、実施費用の安い人工降雨法が産業用水確保には適していると判断されます。

温室効果ガス

液体炭酸、ドライアイスは、温室効果ガスである炭酸ガスであり、地球温暖化に悪影響を及ぼす可能性があると考えられがちです。しかし、液体炭酸法では 1 フライトで 3 回程度の撒布実験の CO₂ 使用量が約 10kg であり、一般社会の現在の CO₂ の使用量から考えると微々たる量であるのに対して、この少ない量の割には、100~200 万 t の水量が得られることになり、非常に有益な技術です。

制約的問題

実験・実施に際しては種々の制約があり、十分な情報収集の実験が行えない状況にあります。特に、資源配分面でのバックアップや研究体制の強化、実験環境条件の整備が必要と考えられます。各種人工降雨法が、種々の制約条件で実用化に至らない状況は、我が国はもとより、世界人類、特に乾燥地における人々にとって不幸な状況にあるといえます。

温暖化により雨の分布が変化

地球温暖化は、海水の温度を上昇させ、海からの蒸発量を増加させます。蒸発した水は雲となり雨となって、海や陸に降ります。東京大学や気象庁気象研究所による研究によると北半球の高緯度地域や一部の中緯度地域では、地球温暖化によって年降水量が増加し河川の流量が増加すると計算されています。(図 6 参照)

一方、ヨーロッパやアフリカの地中海沿岸域、アメリカ西部などでは降水量が減少し、河川流

量も減少すると予測されています。これらの地域では「今世紀半ばまでに利用可能な水の量が10～30%減少し、農業用水などが不足する」可能性があります。また、IPCCの第4次報告書は、「2050年までにアジアだけで新たに10億人以上が水不足になる」と述べています。イギリス、イースト・アングリア大学のマーディン・パリー博士らは2℃の温暖化で、「2080年までに世界で新たに30億人が水不足になる」と推計しています。

また、日本も水不足は例外ではなく、図7に示すように統計的に10年に一度は北海道東部や瀬戸内海地域で年降水量が500～750mmという少雨に見舞われる計算結果があります。水不足は私達の身近な問題なのです。

7. おわりに

このように、21世紀は水不足時代といわれており、現在も毎年各地で国内はもとより諸外国において発生している干ばつに対して、人工降雨の手法の確立と検証が必要に迫られています。

これまでの実験結果によると、気象(気温、風速、風向)、雲の状況等の撒布条件を精選すれば、ほぼ間違いなく人工降雨は可能であると判断されます。しかし、雲の形態、厚さ、密度等々、どのような気象状況、撒布条件下で実施するのが適切であるかについてのデータはまだ不十分であり、さらなるデータ蓄積と正確な技術手順・指導書(マニュアル)作成に活かす必要があると考えられます。これらのことが、政府関係機関と共同で進められるように、対処法、実施方法、研究経費等々の条件整備の基に、人工降雨法のガイドラインを作成し、研究・実用化・普及の組織体制を確立して、実現に向けて早急に取り組むことが急務と考えられます。

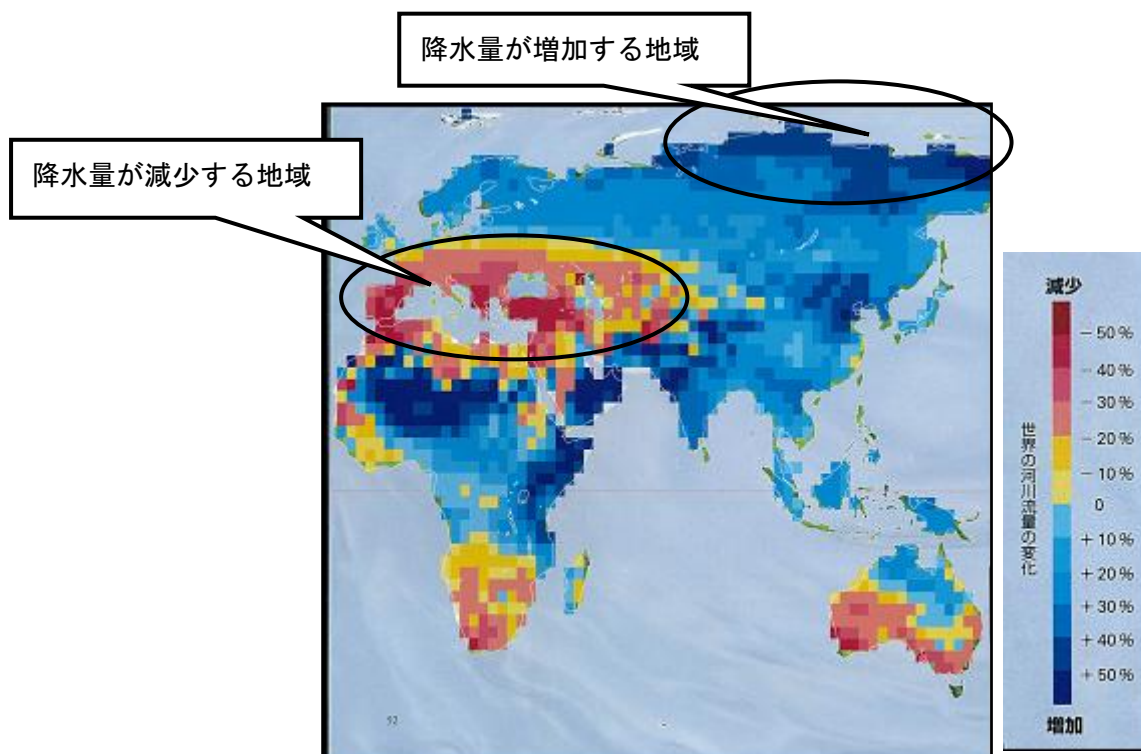


図6 世界の河川流量の変化(1981～2001年平均値と2081～2100年の推定値の比較)
(Newton 2007年8月号より)

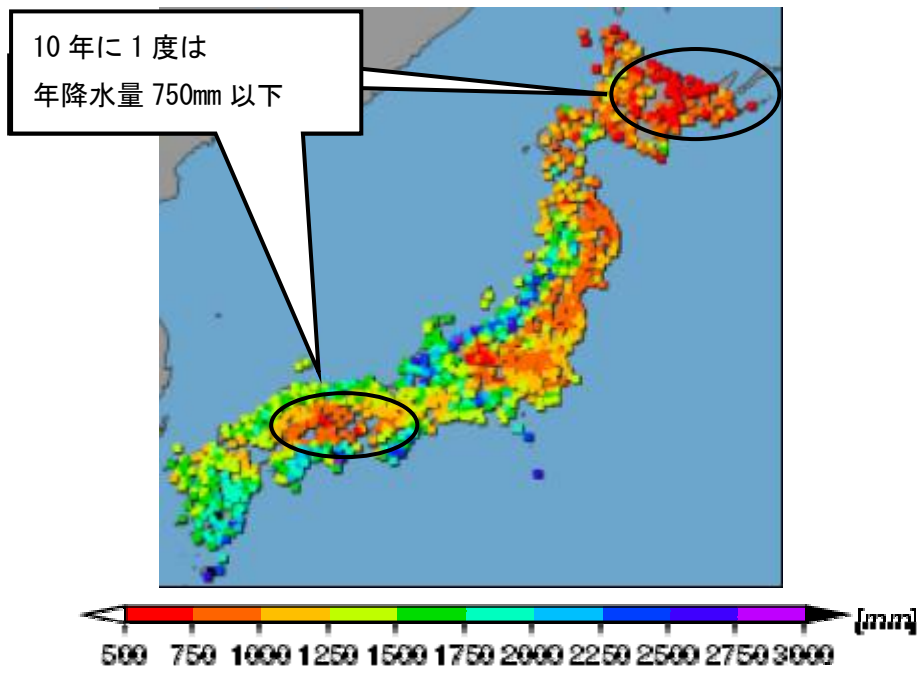


図7 10年に1回の少雨年の降水量（気象庁ホームページより）

参考文献

農学基礎委員会農業生産環境工学分科会,2008：渇水対策・沙漠化防止に向けた人工降雨法の推進
 Newton 2007年8月号：株式会社 ニュートン プレス