

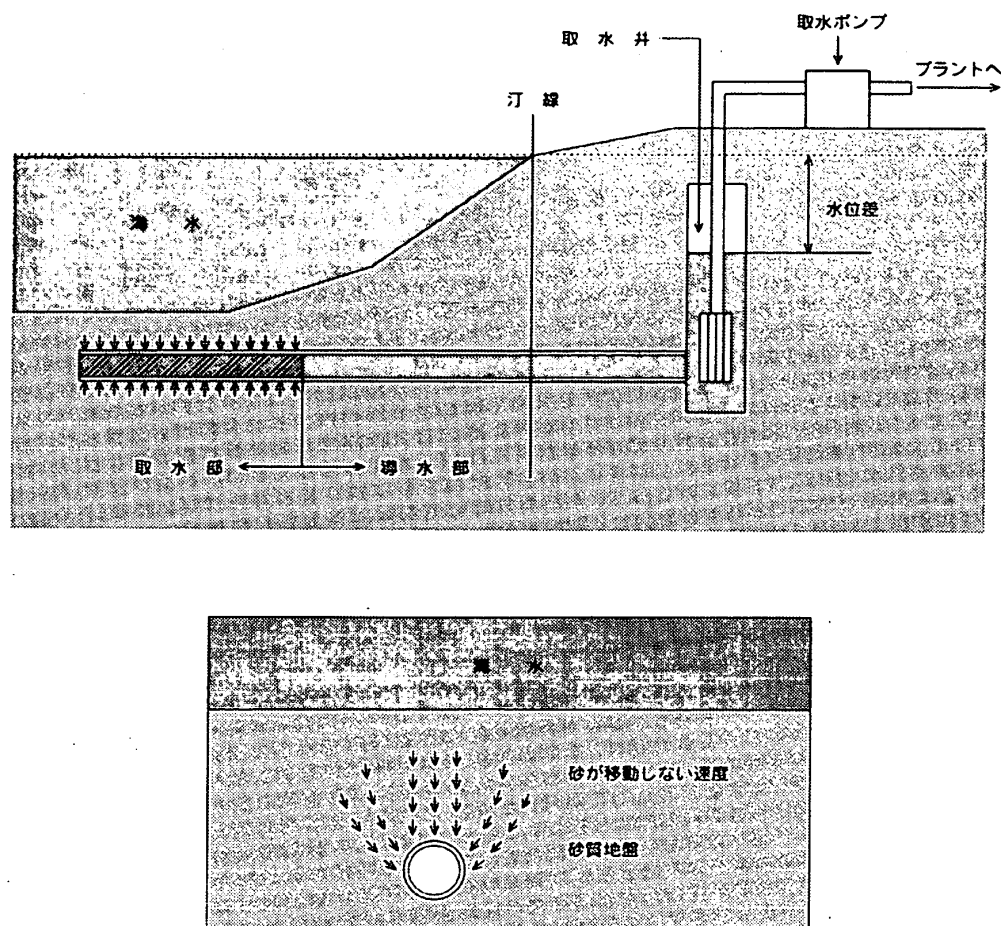


図 4-5 取水井と取水菅の取水部と導水部

ための努力を行っていく。

また、いつ起こるとも限らない渇水に対応できる有効策としての海水淡水化事業の早期完成を期待している。

参 考 文 献

- 1) 節水意識・節水施策による水補給量を伴う総合水需給計画の評価に関する研究 p99 平成 13 年 7 月 藤井利治

5. 渇水防止のための人工降雨について

脇水 健次・西山 浩司**

5.1 はじめに

昨年 (2001 年) の夏は、関東地方から四国地方の太平洋岸では異常渇水となり、東京都ではヨウ化銀 (AgI) を用いた人工降雨を行い、関東地方の水がめであるダム周辺に多くの降雨をもたらすことに成功した。

このように気象調節 (または気象制御) により、水資源の確保と激しい気象の緩和は人類の太古からの願いであった。

気象制御には大きく分けて、意図的なものと非意図的なものの 2 種類があり、1 つは人工降雨の

・ 九州大学大学院農学研究院
 ** 九州大学大学院工学研究院

ように意図的な気象制御であり、もう一つは、人口増加や二酸化炭素増加により発生する地球温暖化のような、非意図的な気象制御である¹⁾。

本稿では、意図的な気象制御について説明する。

表 5-1 は、世界の各国における気象制御の実施例について説明したものである。圧倒的に「降水量増加」と「ひょう制御」に関する気象制御が多い。世界の多くの国では、水資源不足のために切実に気象制御（人工降雨）により水資源を増加させようとしていることがわかる。しかし、大気は非常に大きな空間であり、気象を制御することは容易ではない。

日本では、古くは、「平安時代の京都で、護摩祈禱により雨を降らせた」という内容の古文書も多く残っている。海をへだてたアメリカでは、「南北戦争のとき、たくさん大砲を撃ったら雨が降り出

した」とか、「インディアンたちが太鼓を叩いて雨乞いをしたら、雨が降った」という記録も残っている。しかし、これらは、科学知識の乏しい時代の人工降雨の例にすぎない。

ここで紹介するのは、科学的方法に基づいた人工降雨についてである。つまり、1946 年 11 月 13 日、米国マサチューセッツ州西部の過冷層積雲に対し、ゼネラルエレクトリック (G.E.) 社の Vincent. J. Schaefer が小型機からドライアイス（ドライアイス）を撒布し、雲が雪片に変化し、落下消滅し、はっきり人工降雨の効果を示した後のことである。この翌年、ヨウ化銀 (AgI) の有効性も G.E. 社 Bernard Vonnegut により発見された。これらの人工降雨により、人類が初めて科学的に気象／降雨を支配できる方法として、近代的気象制御法が大きな期待を集めるようになった²⁾。

表 5-1 世界の国々における気象調節プロジェクト実施状況 (1993 年, 1994 年)

国 名	目的	国 名	目的
アルゼンチン	H	マレーシア	P
アルメニア	H	モンゴル	H
オーストラリア	P	モロッコ	P
オーストリア	H	ノルウェー	F
ブルガリア	P、H	ペルー	P
中 国	P、H	ロシア	P、H、S
クロアチア	H	スロベニア	H
フランス	H	南アフリカ	P
ドイツ	H	スペイン	H
ギリシャ	H	シリア	P
イスラエル	P	タ イ	P
イタリア	P	ウクライナ	P、H
日 本	P	米国	P、F、H
ヨルダン	P		
リビア	P	ウズベキスタン	H
マケドニア	H	ユーゴスラビア	H

H：ひょう制御、P：降水増加、F：霧の消散、S：なだれ防止

5.2 暖かい雨の人工降雨法と冷たい雨の人工降雨法

さて、雨の成因には、大きく分けて 2 つある。

1 つは、氷粒子が関係しない過程で形成される雨（暖かい雨）、もう 1 つは、氷粒子が関係する過程を経て形成される雨（冷たい雨）である。

暖かい雨の人工降雨法は、大きな雲粒が小さな雲粒と衝突・併合してより大きな雲粒となる過程を利用するため、水滴そのものを撒布する方法や塩化ナトリウムなどの吸湿性粒子を撒布する方法がある。

一方、冷たい雨での人工降雨法は、降水の始まっている過冷却水滴を含む雲の中で人工的に氷晶を発生させる方法と氷晶が昇華成長する際の潜熱によって雲内の上昇流を強化し、降水を増加させる方法である^{1), 2)}。

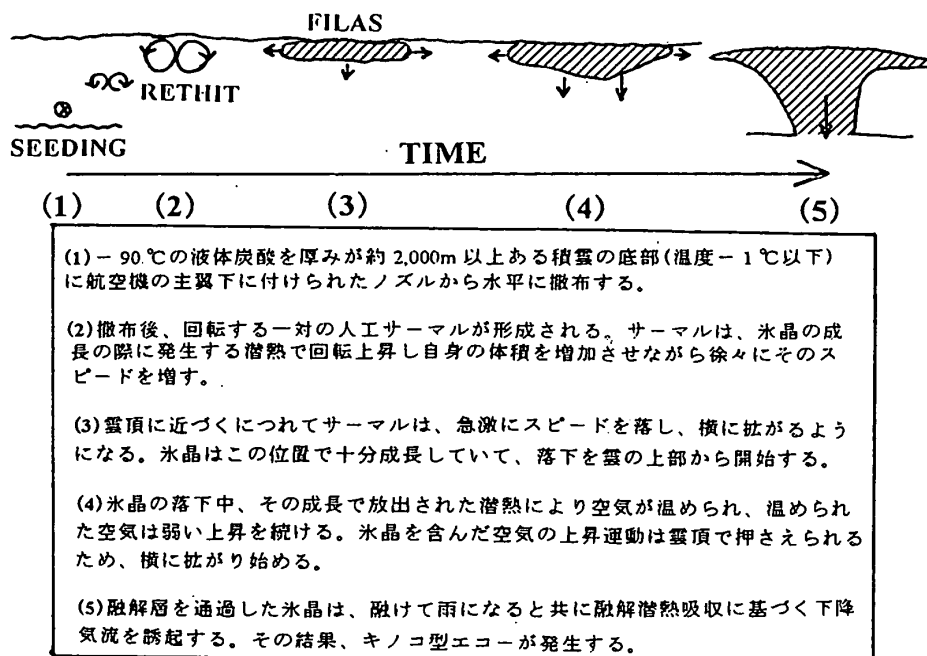
ここでは、後者の冷たい雨について人工降雨実験を行ったので説明する。

5.3 北部九州での人工降雨の実施例の紹介

冷たい雨に用いる人工降雨法には、従来、ヨウ化銀 (AgI) 法やドライアイス法があった。しかし、この 2 つの方法とも増雨効果はきわめてあいまいであった。これに対し、今回用いた人工降雨法は、

Fukuta (1998) が確立した、物理過程に基礎をおく全く新しい理論的方法、すなわち、対流雲

(積雲) 底への航空機液体炭酸撒布法である (図 5-1)。



* RETHIT: Roll-up Expansion of Twin Horizontal Ice Crystal Thermals.

* FILAS: Falling-growth Induced Lateral Air Spreading.

図 5-1 種撒き効果模式図 (福田理論)

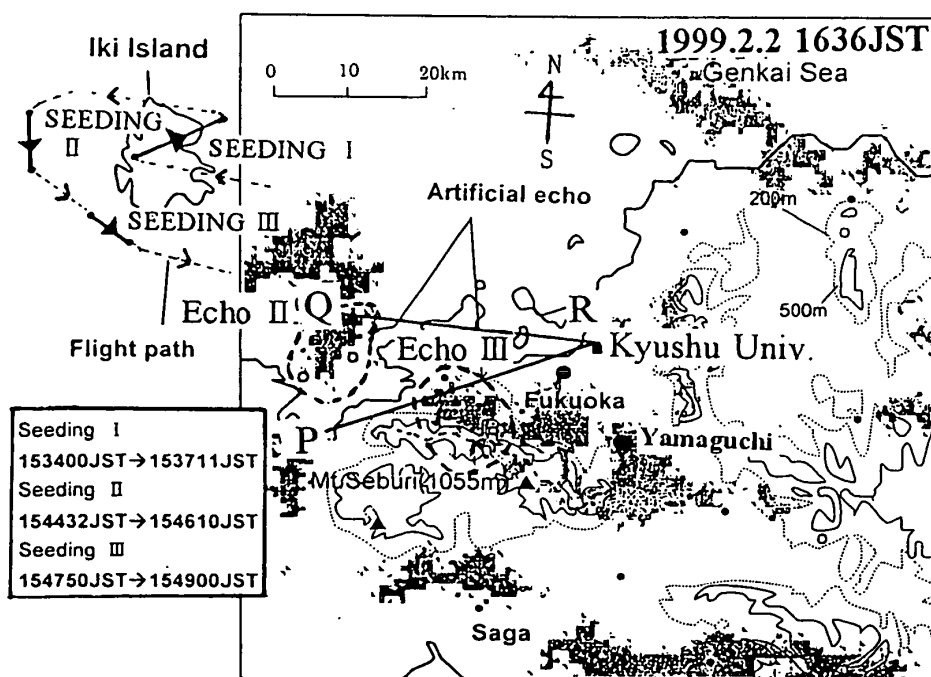


図 5-2 種撒き飛行経路およびエコー II, III が最も発達した頃のレーダーエコー (PPI) (九大レーダー)

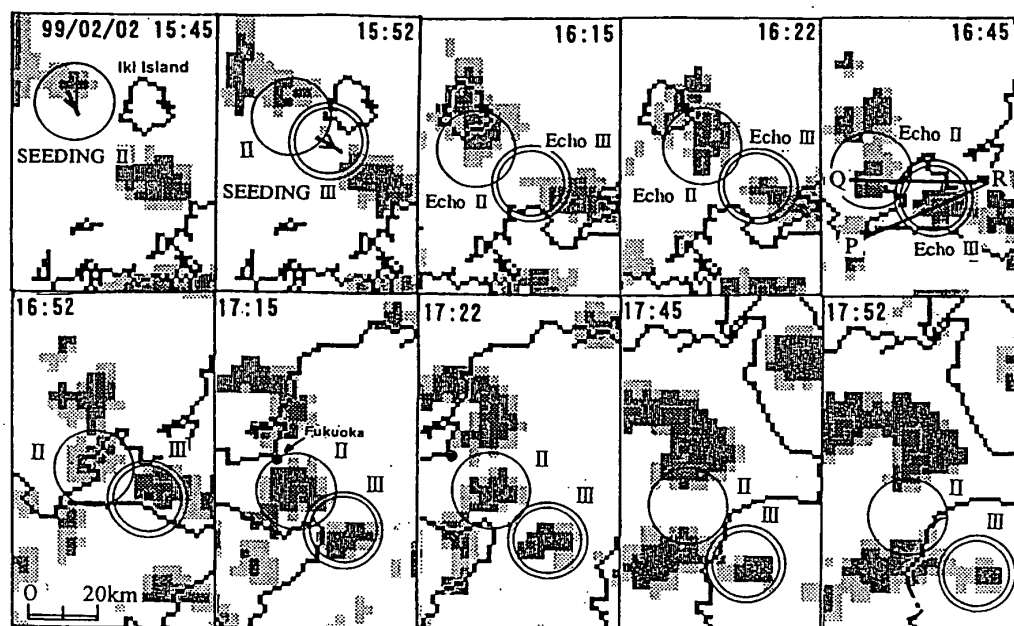


図 5-3 エコーII, IIIの水平断面エコー (PPI) の時間変化 (気象庁レーダー)

そのメカニズムは、RETHIT 効果と FIRAS 効果から成っている。

ここでは、九州北部で 1999 年冬季および秋季に、積雲底への航空機液体炭酸水平撒布法の人工降雨実験を行い、レーダーによる物理的解析を行った。液体炭酸の撒布強度は 6 gs^{-1} である。

実験結果は次のようになった。

- 1) 人工エコーは、種撒き 20–30 分後に発現し、その後、水平方向へ広がるとともに降雨強度を増大させつつ、風下側に時速約 60 km で移動、福岡県西・南部上空で最も発達し、最大面積約 300 km^2 に達した後、約 30 分で消滅した。エコー消滅は雲の水分がすべて降雨に変化したことを示唆する。1つの積雲への種撒きの結果、地上雨量としては 1 mm を観測し、そのエコーからの直接総推定降水量は 100 万トンに達した (図 5-2, 図 5-3)。
- 2) その雲の鉛直断面エコー (RHI) の画像解析により、福田理論が予想するキノコ型エコーの発達が発見された。これは、自然の降雨では起らないものである (図 5-4, 図 5-5)。
- 3) さらにこの人工エコーは、降雨に伴う下降気流をもつため、周辺に新しく上昇気流を起すの

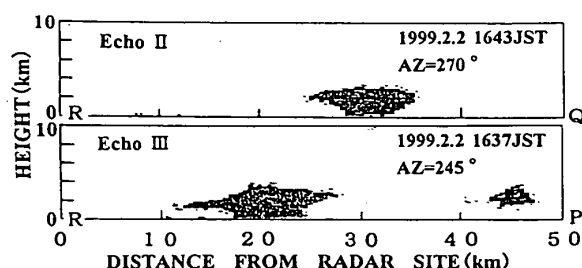


図 5-4 エコーII, IIIのキノコ型エコー (RHI) (九大レーダー)

で、2次エコーを誘起させ、人工降雨効果を増幅させる現象も発見された。

- 4) 秋季の実験では、機上の観測も行い、雲頂高度は、種撒き雲 7.2 km, 種撒きしない雲 3.6 km を確認した (写真 5-1)。
- 5) ただし、この種撒き反応は雲の厚みに依存し、約 2000 m 以下の薄いものではエコーも降水も起らなかった。

以上より、福田理論に基づく航空機液体炭酸撒布法は有効であることが証明されたわけである。

実用化に際しては、図 5-6 のように次から次にやって来る対流雲 (積雲) に種撒きを施すことにより、1つの積雲で地上に 100 万トンの降水をも

たることが出来るので、実際には100万トン×積雲の個数だけの降水が期待できる。その上、飛行機さえあれば、ヨウ化銀法に比べ、低コストでしかも地球に優しい方法であることも付け加えておく。

最後に、今回の人工降雨実験には福岡県水資源

対策局および海上自衛隊厚木基地511飛行隊の多くの方々にお世話になりました。ここに、記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 水野量, 2000: 雲と雨の気象学, 朝倉書店, 196pp.
- 2) 福田矩彦, 1988: 気象工学-新しい気象制御の方法-, 気象研究ノート, 164, 213pp.
- 3) Fukuta, N., 1988: Cloud seeding clears the air, Physics World, 11, 25-26.

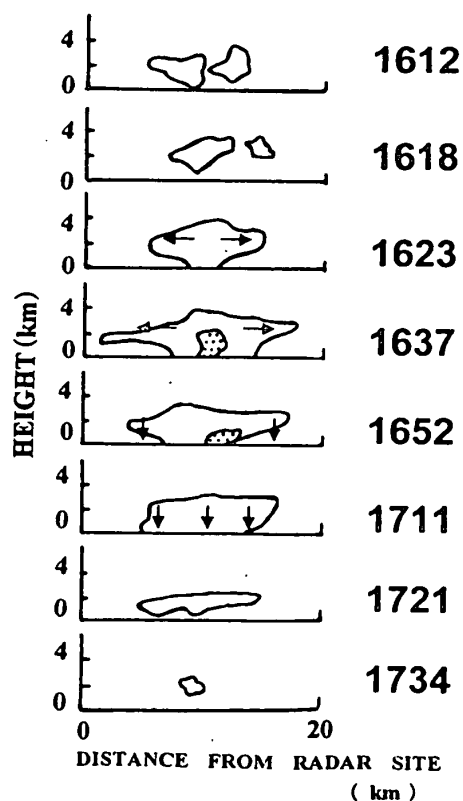


図 5-5 エコーIIIの鉛直断面エコーの発達および衰弱の過程(九大レーダー)

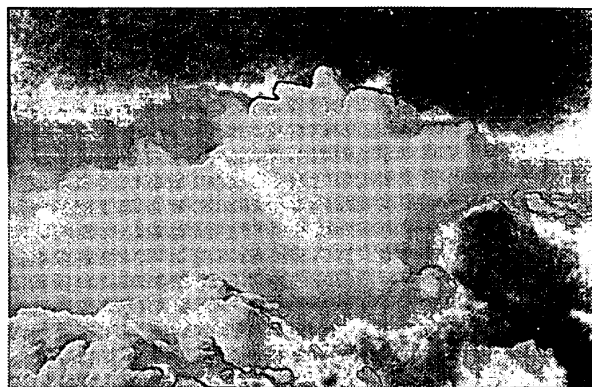


写真1 種撒き後40分頃の発達した雲(秋季実験より)

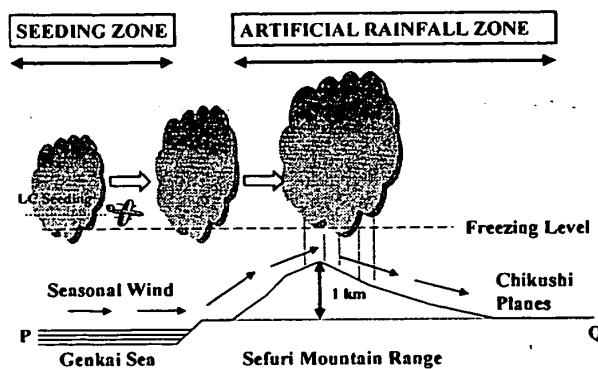
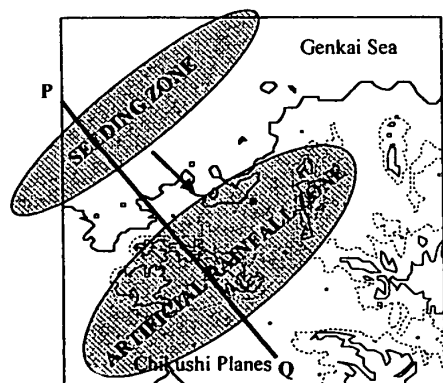


図 5-6 北部九州における人工増雨法の計画模式図