

## まえがき

人工降雨については、近年、多くの実験が行われ、歴史的にもかなりの情報がある。しかし残念ながら、実用化は思ったより進んでいない。この理由については、本書で詳しく解説するが、強い目的意識を持って国家等の公的機関が推進するとか、災害防止等の具体的目的を強く持ちバックアップしない限り、成り立たないとまで言い切れる。

その人工降雨法の中には技術的に優れた方法があると、筆者らは信じているが、しかし実用化できていない。この方法は液体炭酸法であり、既に米国・福田矩彦博士(2010年に死去)によって特許が取られている。このため、幾分、使用に当たっては注意が必要である。とはいいながら、非常に優れた方法であるので、日本はもとより、特に世界各国で水飢饉のため水に困っている人々、現在より水を多く利用したい人々、つまり、全人類の水問題の幾分かの解決に貢献する目的で、まずはその人工降雨法がどのような方法であり、かつどのような状況、すなわち、実施・普及位置にあるかを世界の人のびとに知っていただくために本書を企画した。

本手法の良さを理解していただき、非常に多くの利用性、利用の可能性があることを理解していただくためにも、そして国民への啓発、あるいは水問題で苦しんでいる世界の人々に対して啓蒙的役割を果たしたいと考え、幾分でも、否、多くの人びとに役に立てればと思っている。

本書は、以前からの発行計画ではあったが、諸般の事情で実施できなかった。そのうち、時間が経過する中で2010年5月に福田博士が突然死去され、我々関係者は途方にくれていた。しかし、何もしないでいることは、博士の人工降雨普及の意志が浮かばれないと思い、博士の死を期に関係者は出版に集中し、発行する思いを固めた。このことは、これまでにあまり評価されなかった博士のすばらしい成果を高く称え、可能性の高い技術を早く世の人のために役立てる意味で重要であり、供養になると考えたためである。かつまた、今行わないと、本手法が埋もれてしまうことが懸念されるとともに、世界の水問題の幾分かの解決に貢献したいと思ったからである。

執筆に当たっては、目次に示すとおりであるが、過去の主要な人工降雨法および液体炭酸法について比較するとともに、数少ない貴重な実験による成果を紹介し、今後の本手法の発展性を期待するものである。

最後に、本書の出版に当たっては、技報堂出版の小巻愼氏に大変お世話になったことに対して心より感謝するものである。

2011年11月1日 木々が色づき始めた筑波大学にて

筑波大学北アフリカ研究センター 客員教授  
九州大学名誉教授

真木 太一

# 目 次

はじめに 1

## 1 章 人工降雨法の歴史 5

1.1 雨の種の開発と世界の人工降雨実験の流れ 6

1.2 日本における人工降雨実験の流れ 9

1.2.1 気球法による人工降雨 11

1.2.2 ヨウ化銀地上発生法 14

1.2.3 航空機法 17

1.2.4 塩粒空中散布法 21

1.3 ま と め 23

## 2 章 種々の人工降雨法 25

2.1 ドライアイス法 26

2.2 ヨウ化銀法 29

2.3 散水法 32

2.4 液体炭酸法 34

2.5 吸湿剤散布法 38

## 3 章 新しい液体炭酸人工降雨法の適用シナリオ 39

3.1 人工降雨とは 40

3.2 人工降雨の原理 43

3.3 液体炭酸法 48

- 3.4 人工降雨実験とはどんな実験 51
  - 3.5 大気中の水資源 55
  - 3.6 人工降雨の実施に適した雲と気象条件とは 59
  - 3.7 実際の人工降雨実験でターゲットにする雲とは 64
  - 3.8 北部九州は人工降雨の評価に適した実験場 65
  - 3.9 液体炭素法を適用した初めての人工降雨実験 68
  - 3.10 液体炭素散布でできた雲の特徴 72
  - 3.11 単独の人工降雨域を作る 73
- 4章 降水(降雨)の仕組み 77
- 4.1 雲, 雲粒, 降水粒子 78
  - 4.2 地球大気の構造 80
  - 4.3 大気成層の安定, 不安定 82
  - 4.4 冷たい雨, 暖かい雨 83
  - 4.5 短時間降水量の増加傾向 85
- 5章 人工降雨実験ドキュメント: 成功事例 91
- 5.1 1999年 2月 2日 92
  - 5.2 1999年 10月 27日 95
  - 5.3 2006年 2月 4日 97
  - 5.4 2006年 11月 7日 101
  - 5.5 2007年 1月 8日 104
  - 5.6 2008年 1月 17日 109
  - 5.7 2009年 1月 24日 110
- 6章 人工降雨実験ドキュメント: 失敗事例 117
- 6.1 2006年 12月 18日 118
  - 6.2 人工降雨実験の失敗と怪我の功名 120

6.3	人工降雨実験の失敗要因	122
6.4	人工降雨実験の苦勞話	124
7章	人工降雨の研究, 普及の利点と問題点は何か	127
7.1	人工降雨と貯水, 利水, 節水の勧め	128
7.2	人工降雨法の事業化と技術移転	129
7.3	研究, 普及の利点と問題点	130
8章	内閣府日本学術会議からの提言(対外報告)	139
8.1	対外報告・提言の要旨	141
8.2	人工降雨に関する提言	142
8.3	まとめ	147
9章	人工降雨の今後の課題	149
9.1	沙漠化防止, 沙漠緑化に有効か	150
9.2	夏季の干ばつ対策への応用	156
9.3	気象改良, 気象制御への応用	160
コラム	ブラジルのバナナ園で散水人工降雨法を実用化	165
参考文献		167
あとがき		169
索引		173

# はじめに

真木太一

近年の地球温暖化に伴う異常気象は、局地規模から地球規模に至るまできわめて発生頻度が高く、月・年平均気温の高温化が進行するとともに、豪雨の発生頻度と降水量、台風の来襲頻度と風速、干ばつの発現頻度と強度の増大等々、少雨と多雨、あるいは逆に多雨と少雨が繰り返し連続して発生するなどの形で出現している。

例えば、2005年5、6月には西日本では梅雨時に干ばつとなり、特に福岡等の北部九州では空梅雨となり、7月上旬には豪雨、洪水、土砂崩れが各地で発生した。前年の2004年は7月に少なく、次年の2006年は平年並で、引き続き2007年は、5、6月の干ばつに対して7月上旬の大雨のように、2005、2007年の同様の天候の発生等、北部九州では数年間で両極端の異常気象が発生している。

すなわち、観測史上の記録を年ごとに更新する要素も多く、本来30年に1度程度の出現と定義されている異常気象とは、統計的にもそぐわない状況を迎えている。これは非常に警戒すべき事態であり、抜本的対策が必要であると考えられる。これらに関しては、2007年5月30日に日本学術会議『地球規模の自然災害に対して安全・安心

な社会基盤の構築委員会』から答申「地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築」が政府・国土交通省に、また一般社会に対しても同名の対外報告が提出されている。その詳しい参考資料の中には、後述の液体炭酸人工降雨法の必要性が記述されている。

また、2007年1月に「科学者コミュニティが描く未来の社会」が日本学術会議『イノベーション推進検討委員会』から報告され、イノベーションと学術研究の中での地球環境問題とエネルギー問題への対応として人工降雨技術開発が、また、水・食料問題への対応でも地球温暖化等による深刻な水不足の問題解決に不可欠であることが指摘されている。さらには、2007年5月25日に『イノベーション25戦略会議』から長期戦略指針「イノベーション25」が公表され、日本の優れた環境・エネルギー技術等の世界への発信・実証の中に温暖化の影響研究および沙漠の緑化による食糧需給の安定等の記述が見られる。これらは水不足や水確保に関連する重要な検討課題である。

国連環境計画 UNEP やノーベル平和賞を受賞した IPCC (気候変動に関する政府間パネル) は、地球温暖化が進む中で、21世紀はさらに深刻な淡水不足が顕在化し、影響を受ける人口が数億人に達すると警告している。

さて、将来予測もさることながら、20世紀にもアフリカ、中国をはじめ、多くの地域で大干ばつが頻発した事実を忘れてはならない。被害は農作物の枯死や家畜の餓死にとどまらず、人間も数千万人が餓死するに至った。他方、人畜の住めない沙漠も拡大の一途を辿っている。日本でも約10年に1度の頻度で干ばつを経験し、国民生活に深刻な影響を与えてきた。

そうした時代の中で、科学的気象制御法としての人工降雨研究が1940年代にアメリカで開始され、それ以来各国で干ばつ・渇水対策を目指して研究に多大な努力がなされてきたが、これらには少なからず不合理な面が見られる。すなわち、原理的には後述のヨウ化銀法、ドライアイス法、散水法の人工降雨法をもとに、地上発煙、気球、航空機等と組み合わせた多様な方式が実験、研究された。しかし、端的な結論としては、莫大な研究費、膨大な研究者を参集したにもかかわらず、これらの方法は期待に応え得る確たる成果は得られず、1970年代には人工降雨に関する研究は停滞局面に入った。しかし、最近になり、ドライアイス法や散水法の改良および液体炭酸法の開発があり、有望視はされるが、実用化、普及には至っていない。したがって、効率評価や普及のために比較研究が急がれるところである。

本書の対象とするのは、少雨、干ばつ下での水資源確保へのアプローチである。特に淡水は、国内はもとより世界的に多くの国において、時期によって、あるいは慢性的に、水不足状態にある。地球温暖化の進行でさらなる悪化も予測されており、水資源確保、渇水対策、沙漠化防止が重要な課題となっている。

気象制御、水資源確保への人工降雨技術開発への挑戦は、いささかもその重要性が低下することはなく、新たな人工降雨法の登場が待たれている。そこに液体炭酸法が考えられるが、まだ十分評価された手法ではない。

このような情勢下で、ヨウ化銀法は環境汚染問題から、また散水法は実験条件が大きく異なるために別にしても、ドライアイス法と液体炭酸法の有効性については、少なくとも同場所で同時に、つまり同一条件下での比較実験を実施する必要がある、両方法について客観

的にその有効性の比較結果を行政および一般社会に公開，提示する必要があると考えられる。たとえ，どの手法が比較実験によって人工降雨・増雨をもたらす確実性が高いと判断されても，その技術は，水不足に悩む人類，あるいは沙漠化防止や沙漠緑化を望む人々に，地球規模で貢献できる人工降雨法として評価され普及可能となる。

さて，2005年6月の西日本の渇水に際し，当時の小泉内閣で人工降雨実施が閣議決定される予定であったが，7月になり大雨が降ったため取り止めとなった。しかし，研究の必要性は十分に認識され，閣議決定で研究費が予算化された。その研究は，内閣府で論議され，文部科学省所管の科学技術振興機構で公募・審査された。結果としてはドライアイス法のみが採択され，他の人工降雨法との比較実験は行われないうちに現在に至っていたが，2011年4月～2014年3月の期間，科学研究費「最適人工降雨法の開発と適用環境拡大に関する研究」がスタートしたことで，実験の成功を期待するとともに，今後の液体炭酸法の普及への足がかりができたと思っている。

ここに，人工降雨研究史を振り返りながら，今後の人工降雨，特に液体炭酸法研究の必要性と発展性を記述し，その重要性を日本国民および世界の人々に提示するものである。

# 1 章 人工降雨法の歴史

鈴木義則

人類が今日まで生き延びてきた歴史において最も重要としたのは、食料と水の確保であった。農耕技術を開発し、そのお蔭で文化を発達させ、今日の繁栄を築いた。しかし、その道程にあって、農業生産は天候に左右されるため、数限りないほどの危機的飢饉に見舞われた。その原因の一つには、干ばつがあった。干天が続くたびに、人々の切実なる願いは雨乞いに向けられ、古くから呪術や祈祷を頼りにした。その名残は、山の名前となって現在も各地に残されている。20世紀の雨乞いは、科学的基礎の発見を促し、人工的な降雨の可能性を呼び込み、人々の期待を生み高めるものとなった。

これまでに登場した人工降雨法を逐次開発された雨の種により命名すると、ドライアイス法、ヨウ化銀法、散水法、液体炭酸法等がある。

雨の降り方は、雲の性質によって異なる。例えば、氷点下でも凍っていない過冷却水滴を含む「冷たい雲」では、ベルジェロン・フィンダイセン氷晶説により、他方、過冷却水滴を含まない「暖かい雲」では、ルードラム海塩粒子説により説明される降り方となる<sup>1)</sup>。このため、適用すべき人工降雨法は当然違ったものになる。本来なら両輪として降雨理論の展開にも触れるべきだが、本節では人工降雨の科学的実験の流れに絞ってその概略を振り返ることにする。

## 1.1 雨の種の開発と世界の人工降雨実験の流れ

a. **ドライアイス法**<sup>1,2)</sup> 人工降雨の願いが科学的な考えをもって試みられたのは、1930年秋のオランダの気象学者ヴェラート博士(S.W.Verrart)が飛行機を使いドライアイスや氷の粉末を雲中に散

布した実験とされている。この時は不幸にして良い成果とはならず、結局、研究費不足に追い込まれ、不評のうちに立ち消えになった。

アメリカ・ゼネラルエレクトリック社のシェーファー博士 (V.J. Schaefer) は、電気冷蔵庫内を過冷却気体で充満させてドライアイスの粒を落とすと、その結果、庫内が透明となり、底に雪片が降り積もったことを確かめた。これが人工降雨につながる基礎的発見とされ、1945年8月2日のことであった。これにより、自然の過冷却水滴を含む雲にドライアイスを含めると、雪として降らせることができると考えたのである\*1。同僚のラングミュア博士 (I. Langmuir) は、早速理論計算のもと量的見積りまで行い、両博士により本格的なドライアイス空中散布実験が1946年11月13日にニューヨーク郊外で行われた。雲頂高度が約4,000 mの高積雲に対し4,200 mの高度からドライアイスの碎片を約5 kmにわたって散布し、やがてその雲から雪が降り出したのを確認した\*2。彼らは、層雲ではドライアイスを含めた道筋が陥没したこと、高積雲では逆に雲頂が隆起したこと等を初めて明らかにした。ドライアイス散布実験はその後も多くの研究者により世界各地で繰り返された。しかし、降雨量として量的に評価されたのは、数百回に及ぶ実験中10%未満にとどまったという。

**b. ヨウ化銀法<sup>1,2)</sup>** 1946年、ヴォンネガット博士 (B.Vonnegut) は、燃焼させたヨウ化銀微粒子が $-4^{\circ}\text{C}$ 以下では氷晶核となること、それはヨウ化銀結晶が氷の結晶に極似するためであることを

\*1 ペルジェロン・フィンダイセン氷晶説の適用。

\*2 ただし、この時は地上までは達することはなかった。

発見した。これは飛行機を使わなくても地上で発煙させて自然の上昇気流により雲(過冷却雲)に送り込むことができる、あるいは気球によって雲の近くで発煙させることが可能等の特長を持ち、ドライアイス法を凌ぐものとして期待された。1948年10月、ニューメキシコ州で野外・地上発煙実験が行われ、風下130 mile 以内で平均8 mm, その外側165 mile までは3.7 mm 程度の雨が降ったという。この成功例を契機に各地で実験が行われることになった。その結果、降雨効果が認められないケースも多くなった。その主な理由としては、ヨウ化銀粒子は大気中、特に太陽光下で氷晶としての能力を失う性質があること、また、氷晶核発生数も温度によって大きく変わる特性があるためとされた。さらに、その毒性から生態系への懸念といったマイナス面も指摘されるに至った。

**c. 散水法<sup>1)</sup>** 高温期によく現れる暖かい雲に対して、海塩粒子が凝結核となるルードラム博士(F.H.Ludlam)の降雨機構説からドライアイスやヨウ化銀とは別の雨の種があってよい、こう考えてオーストラリアCSIROのボーエン博士(E.G.Bowen)は、1950年前後に散水実験を行った。海塩粒子を含まない大陸性の暖かい雲を対象に飛行機で雲上から水を散布した結果、降雨を認めた\*<sup>3</sup>。その後、実験を重ね、雲の厚さが2,000 m 以上あれば効果的に雨を降らせることができ、1 tの散水で100万 tの雨を降らせることを示した。その後、多くの研究者が水や海水のほかに塩化カルシウム等の吸湿性物質を加えた水溶液も用いて実験した。

---

\* 3 ただし、この時は地上には達せず。

d. **液体炭酸法**<sup>2,3)</sup> アメリカ・ユタ大学 Norihiko Fukuta (福田矩彦) 教授は、液体炭酸が氷晶生成力において温度に関わりなく一定でかつ高い能力を持つこと、それ故に温度依存性が高いヨウ化銀より優れていることを明らかにし、人工降雨に適用する方法を開発した。1996年に提案された液体炭酸航空機法は冷たい雨を対象とし、RETHITとFILASに基礎を置くLOLEPSHINという方法(本法については35頁参照)で、科学的考察を可能としている。実証研究は、北部九州において1999年1月からユタ大学、九州大学、福岡県庁との共同で開始され、雲底直上の氷点下の層に液体炭酸を噴霧した結果、福田理論が予測した茸型人工エコーをレーダーで捉えるとともに地上で降雨を確認した。なお、福田教授は、ヨウ化銀やドライアイスを超える効果を持つメタルデヒドの特性も見出した。

## 1.2 日本における人工降雨実験の流れ

日本での人工降雨実験は、第二次世界大戦で日本が壊滅的に焦土と化したわずか2年後、アメリカでの実験のわずか1年後の1947年12月11日、日本電発送電(株)の依頼を受けた九州大学伊藤徳之助助教授(当時)による米軍機を使った佐賀県上空でのドライアイス空中散布法が最初であった。これはシェーファー博士、ラングミュア博士の成功に触発されたものであった。冬型の天気下で積雲に散布したところ、彼はパイロットのホームズ中尉らとともに機上から投下後にはその前には見なかった雪片を認めた。一方、地上側では、川上川発電所(佐賀県)の所員が「機影が雲中に隠れたあとに雲に変形