人工降雨の普及に向けた日本学術会議から政府・国民への提言

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	真木,太一 鈴木,義則 脇水,健次 西山,浩司
発行元	養賢堂
巻/号	84巻1号
掲載ページ	p. 14-21
発行年月	2009年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

人工降雨の普及に向けた日本学術会議から政府・国民への提言

真木太一*・鈴木義則**・脇水健次***・西山浩司****

〔キーワード〕：人工降雨，液体炭酸法，渇水・干害対策，農業生産向上，気象環境調節

1. はじめに

本稿の執筆は，内閣府・日本学術会議・農学基礎委員会農業生産環境工学分科会から政府・国民へ「人工降雨」に関する対外報告・提言（真木ら 2008）が出されたことが契機になっている．人工降雨法にはヨウ化銀法，ドライアイス法，散水法などがあるが，たとえ人工的に雨を降らせることができても，水量が少なく実用的でなかった．しかし，新しい液体炭酸法（開発者：福田矩彦名誉教授（米国ユタ大学））は，その問題であった水量の確保が可能と考えられるものの，実用化・普及していない状況にある．この理由は，科学研究段階の実験のみで，多量の雨を降らせた経験・実績がない，さらに雲のないところから降らすことが不可能で，いつでも降らせるというわけにはいかない，日本では近年危機的渇水になっていない，等々であるかと考えられるが，実際問題どうして普及しないのか，きわめて不思議である．

したがって，筆者らは次のことを強く思い，願っている．従来のドライアイス法と比較しても100倍もの効果差があるとされる液体炭酸法を普及させたい，それによって干害・渇水問題が軽減され，農業生産量が安定かつ増加し，農業が栄え，農民が豊かになること，ひいては世界の陸地の1/3を占める乾燥地の土地に生活する渇水に悩む人々，さらに進んで全世界の人々の水問題が解消され，人類が安寧・幸福になって欲しいと願うものである．

2. 人工降雨の提言の背景

21世紀は水の時代といわれている．今年，2008年はG8サミットが洞爺湖で開催された．この中では地球温暖化とともに安全・安心な水の問題が取り上げられていた．これに先立ち，地球温暖化・地球環境・水問題に関して，日本学術会議がその原案作りに関与したこともあり，この対外報告（＝提言）はタイムリーであったと思われる．また，2007年末に長崎県佐世保市では渇水状態になり，12月～1月の給水制限になることから，九州大学に実験という名目で人工降雨の実施要請があり，2008年1月17日の実験に成功した．マスコミも取り上げたように，その成果は有益となったと推測される．

その時期は，折から日本学術会議幹事会における人工降雨提言採否についての審査の直前であり，タイミングよく佐世保市の人工降雨実験が朝日新聞，NHKなどのマスコミに取り上げられたことも，2007年1月24日に対外報告を通過させる後押しになったと考えられる．その前後でも読売新聞，毎日新聞，西日本新聞，日本経済新聞，産業経済新聞等々で記事が出ている状況である．

ところで，日本学術会議イノベーション推進検討委員会（2007）は2007年1月25日付けで報告「科学者コミュニティが描く未来の社会」を発行している．その中に創出すべきイノベーションとして「気象調節」，すなわち人工降雨が掲載され，その内容，実現に必要な事項，阻害要因等が記述されており，人工降雨技術の推進をあげている．また，イノベーション戦略会議より長期戦略指針「イノベーション25」～未来をつくる，無限の可能性への挑戦～（2007年5月25日）が発行され（イノベーション25戦略会議 2007），日本の優れた環境・エネルギー技術の世界への発信，実証の中に，温暖化の影響研究や災害リスク管理等の能力開発，砂漠の緑化による食料需給の安定等，気候変動の緩和策と併せて適応策について，わが国の知見と技術を活用した技術協力等の国際貢献が唱われている．

*琉球大学農学部・日本学術会議第二部会員（Taichi Maki）
**九州大学名誉教授・日本学術会議連携会員（Yoshinori Suzuki）
***九州大学大学院農学研究院（Kenji Wakimizu）
****九州大学大学院工学研究院（Koji Nishiyama）

0369-5247/09/¥500/1 論文/JCLS

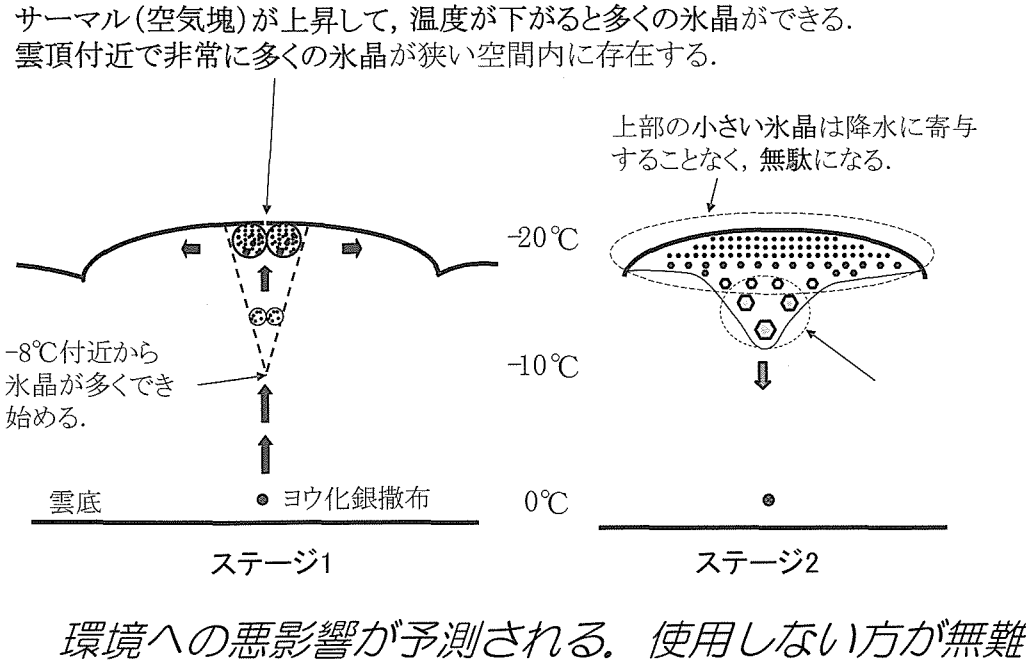

図1　ヨウ化銀人工降雨法の降水原理

3．ヨウ化銀・ドライアイス・散水・液体炭酸法と成功事例

(1)ヨウ化銀人工降雨法

人工降雨法のうち，ヨウ化銀法は図1に示すとおりである．図のように，ヨウ化銀の微粒子の煙（ダスト）を地上，または小型ロケットや航空機から空中に撒布すると，それが氷晶核（氷の結晶の元となる核）として働き，氷晶が形成される．その氷晶が雲の中で時間とともに成長し，降水として地上に落下させる方法である．しかし，ヨウ化銀による氷晶の数が気温に強く依存し，実際起こる現象が複雑になるため，その効果を判定することがきわめて難しい．さらに，気温が−10℃より低くなると過剰な氷晶が形成されるため，雪片の発達が悪くなり，効率面でもよい方法とはいい難い．

また，ヨウ化銀はヨウ素と銀の化合物であるが，ヨウ素は日本では医薬外劇物であるため，撒布濃度が低いとはいえ反復撒布となると，空気中あるいは水環境や食物連鎖で濃縮されて，生態系への悪影響が危惧される．したがって，決して実施すべき方法ではない．

実は中国では，これまで旱魃対策事業として相当多くの頻度でヨウ化銀ロケット打ち上げ，人工降雨を行っているとの報道がある．今年の北京オリンピックのために，大気汚染や黄砂を防ぎ，降水量を確保し，夏季の渇水対策の意味も考慮して実施するという（ただし，中国気象当局は否定したとの報もあるが）．黄砂と大気汚染の問題もあり，とくに越境大気汚染は減少させて欲しいものである．一方では，まだ特定されてはいないが，光化学オキシダントや水銀の長距離輸送の問題も人間への健康影響が懸念されることで，大いに気になるところである．

なお，ヨウ過銀法とは別に，ナトリウム塩やカルシウム塩を凝結核として過塩素酸カリウムやマグネシウム粉末の燃料を加えて，航空機上で燃焼させて撒布する実験が行われてはいるが，実用的ではない．

(2)ドライアイス人工降雨法

人工降雨法のうち，ドライアイス法はヨウ化銀法よりまだ地球環境への影響は小さいと考えられる．ドライアイス法は図2に示すように，航空機で雲の上からドライアイス（炭酸ガスを固体化したもの）の欠片を落下させ，その落下中に起こる昇華（急激

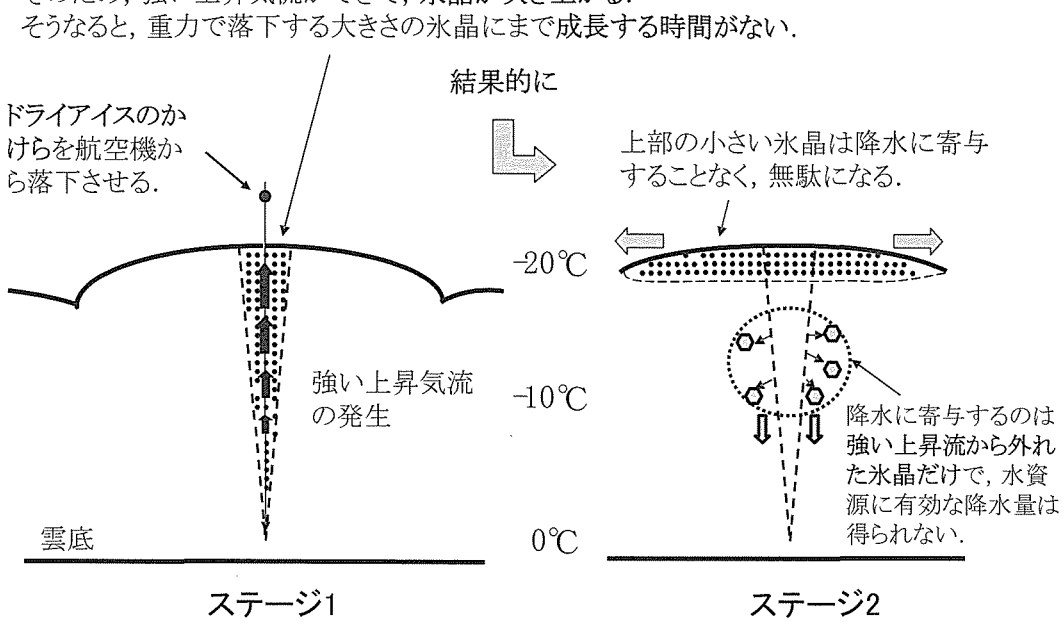

図２　ドライアイス人工降雨法の降水原理

な冷却）により氷晶が鉛直方向に多量に発生する．この後はヨウ化銀法と同様に，氷晶が周囲の水蒸気を取り込み，成長・落下させる方法である．この場合，多くの氷晶が鉛直方向に発生することによって熱（昇華潜熱）の発生も加わるため，上昇気流が強くなり，見かけは降りそうな雲，すなわち塔状の雲に変化することが多く，上昇気流が強くなるため氷晶は小さいまま雲頂まで運ばれることになる．さらなる欠点は，大量に発生した氷晶が雲の上層に集積するため，過剰種撒になり降水に変化することを妨げる可能性がある．この状態では，氷晶の多くが成長できないまま，上層風に流されてどこかに移動し，降水として利用されない結果になる．実際，降水に寄与するのは上昇気流から外れた氷晶と考えられるが，その量はごくわずかであり，決して採算に合うような降水量をもたらすものではない．戦後，日本で初めて人工降雨実験を実施した九州大学での過去の実験を始め，ここ 30 年来，世界中で実験しているが，降ることは降っても，量的には微々たる降水であることを強調しておきたい．特別な限られた時期・用途などの目的以外には利用できない方法である．

しかしながら，いまだに国内のある機関を初め，多くの国で実験が行われている．後述の新しい液体炭酸法が開発されている中では，筆者らにはまったく理解できない現象が依然として続いており，驚きを感じる．日本政府・機関は，この方法にこだわって高額の研究費を長年連続してつぎ込んでいる．如何なる所以（ゆえん）であろうか．

(3)散水人工降雨法

人工降雨法としての散水法は図3にも示すように，航空機で水を撒布する方法である．高温の熱帯地域では空気中に多量の水蒸気を含むことができるため，その状況下で呼び水として散水を行う原理である．散水した水滴が，他の水滴との衝突・併合を通して，大きい降水粒子（雨粒）に成長させて落下させる技術である．散水するときには，できるだけ多量の微水滴にして多量の水滴と吸着・併合させることが望ましい．水の代わりに塩水を使用することもある．なお，散水法を使用した事例はブラジルなどであるが，効率的にはあまり有望な方法とはいい難い．

ただし，日本のように夏季，高温・多湿時には増水できる可能性はある．もちろん，かんかん照りに

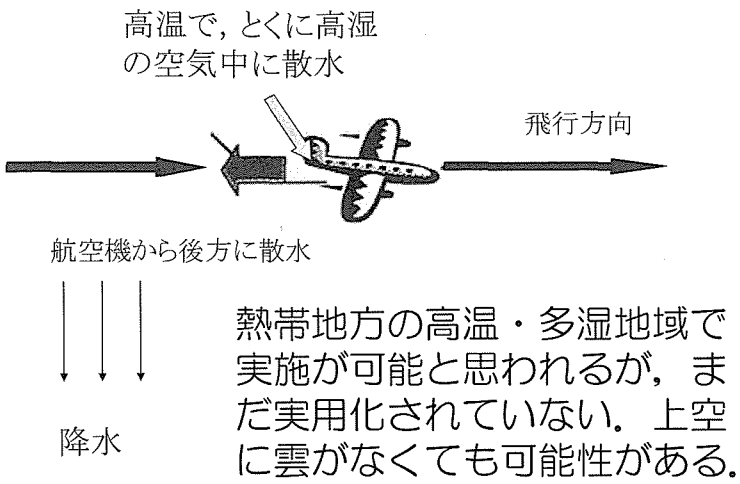

図3　散水人工降雨法の降水原理

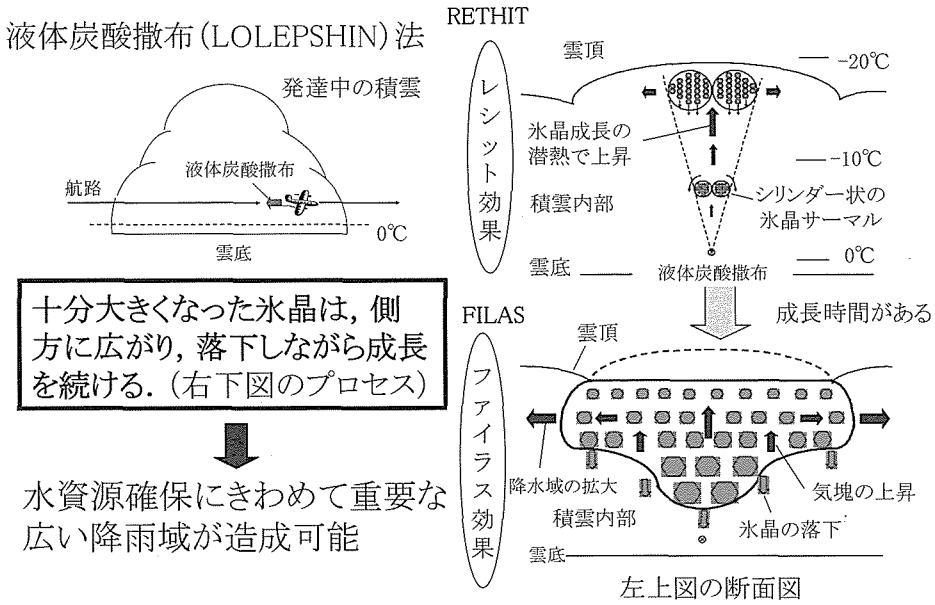

図4　液体炭酸人工降雨法の降水原理（最も実用化の可能性が高い方法）

なった渇水状態では，どの方法も不可能であるが，山地や高地での積雲や積乱雲の発達との関連から，暖候期にたとえば沖縄での数百 m の山地上空に発生する積雲に対して，今後，実験によって評価する必要があるとは考えられるが，それは後述の液体炭酸法が普及段階になった以降の研究と思われる．

(4)**液体炭酸人工降雨法**

液体炭酸法は最も新しい人工降雨法である（福田 1988）．液体炭酸法は図4に示すように，雲の中の氷点下の下層部（過冷却状態にある）に液体炭酸（炭酸ガスを液化したもの）を航空機から噴射する方法である．なお，地上に接した霧や低い雲で，氷点下であれば，地上からでも噴射が可能で雪として降らせることができる．

この方法の特徴として，

①ヨウ化銀法と異なり，発生する氷晶数が気温に依存せず，氷点下のどの領域に撒布しても同程度の数の氷晶が生成される．このことは，温度依存性により氷晶成長過程が複雑化するヨウ化銀法とは異なり，氷晶成長過程が単純化されるため，人

工降雨の効果判定をする際に非常に有利に働く．

②雲頂から鉛直撒布を行うドライアイス法とは異なり，液体炭酸法では，雲底付近を水平に撒布する．このことは，ドライアイス法のような急激な上昇気流の生成が起こらず，種撒きによる上昇気流は弱いため，氷晶の成長する時間と成長空間の拡大を確保できる．

③この方法の最大の特徴として，氷晶が雲の上層付近に達した後，水平縦横の２次元的，あるいは下方向にも雲が拡散し，連鎖反応的に新たな雲の生成，氷晶・雪片の効率のよい成長が起こる．すなわち，雲の側方に拡散した氷晶は，人工的に新たに発生した雲から水蒸気を取り込みながら，比較的長時間（30分～1時間），成長することができる．その間，氷晶同士が併合して雪片へと成長する．地上付近の気温が氷点下であれば人工降雪，それ以上であれば融解して人工降雨となる．

③の特徴が水資源を考えるうえで非常に重要で，雲内の大量の水分を効率よく地上にもたらすことができる．したがって，液体炭酸法は，他の人工降雨法と比較して効率面で，はるかに卓越した方法で，従来法と比較して100倍以上の水量が得られる可能性が高い．

すなわち一言でいえば，厚さ３ km 程度の積雲１個に 30～40 万 t の水分が含まれる．この数値は実験が成功した場合に，一積雲の雨量に相当する．よって小さい積雲３個で一雨 100 万 t となる．ただし上空では，雲はその高度での風速と同速の 10～20 m/s 程度で移動するため，ある１地点に降る雨量は 1～2 mm 程度となり少ない．したがって，事業として降らす場合には，次々にやってくる積雲に連続的に撒布して，ある特定領域の雨量を確保する必要がある．このため農業用水はもとより工業用水・生活用水にもなる．また，旱魃・渇水発生が予測され

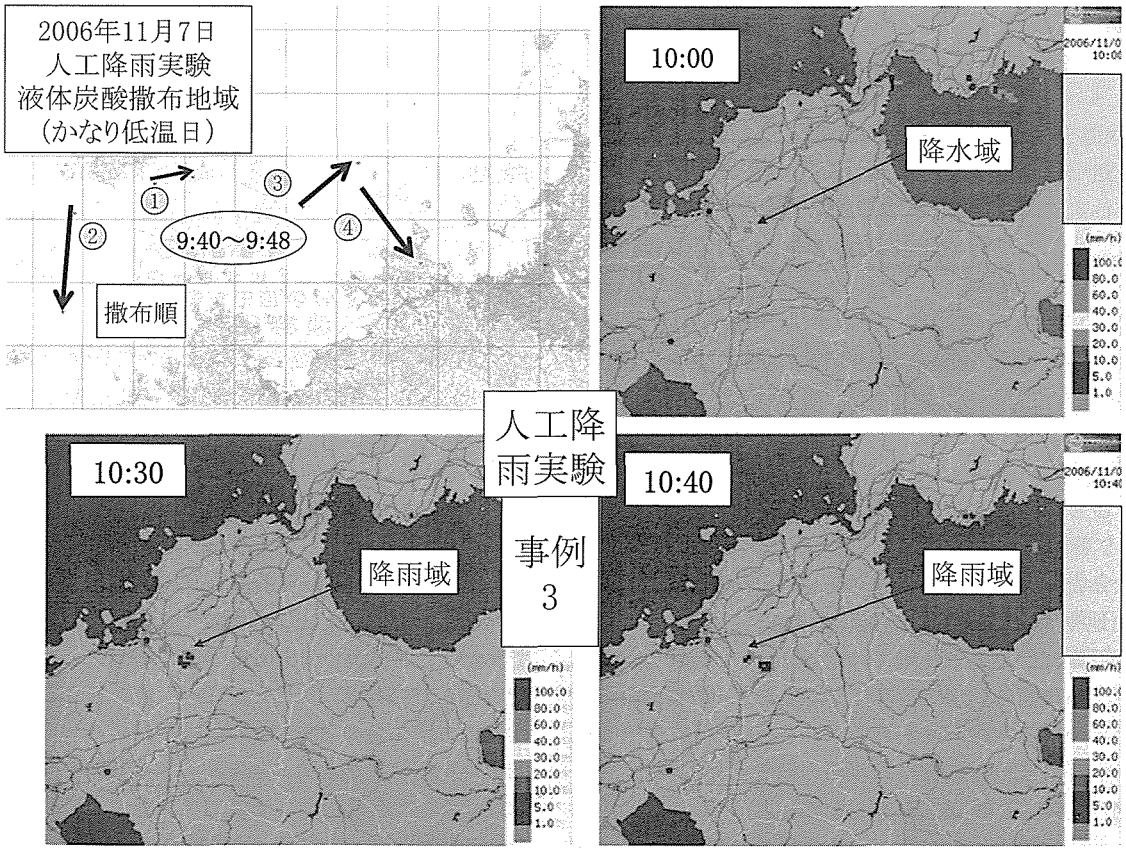

図５　人工降雨法の成功事例（2006 年 11 月 7 日）

る場合には，事前に雨を降らせダムに貯水する方法が適する．

ところで，このような効率の高い有効な方法が実際に開発されているにも関わらず，実用化，普及していない実態がある．これはいかなる原因・理由であろうか．多様な気象条件下での実験回数不足，情報不足，宣伝不足，社会の認識不足等々であると思っている．このため，筆者らは遠回りで時間を要したことではあるが，日本学術会議から提言として政府・国民，広く一般社会に訴えているわけである．もちろん本技術を普及させるためには，適用可能な雲の種類，雲の高度・厚さ等々，また気象条件もある程度限定されるため（たとえば氷点下で多湿），もう少し応用実験が必要であることは確かであり，現在，大いに努力しているが，資源面で協力がほしいところである．

(5) 液体炭酸法による実験結果の事例

1999 年 2 月からの液体炭酸法による実験結果のうち，2006 年 11 月 7 日の人工降雨実験結果を図 5 に示す．また，2007 年 1 月 8 日の人工降雨実験結果を図 6 に示す．両日とも雲の厚さが 1,000 m 以下しかなかったため，目視で比較的厚い雲をターゲットに定め，撒布を行った．その結果，図のように 2 例とも実験に成功している．人工降雨は，十分な雲の厚さがなければ成功しないとされてきたが，厚さ 1,000 m 程度でも降雨を引き起こすことが確認された．その理由は，厚さが不足していても，人工的に生成された氷晶が，比較的長い時間，雲内に留まり，降水粒子まで成長できる良好な環境が与えられたためである．これは，氷晶の成長を阻害する過剰種撒（氷晶同士の成長の競合）を避け，氷晶が雲内でゆっくりと拡散するという液体炭酸撒布法のメリットが十分活かされた結果である．

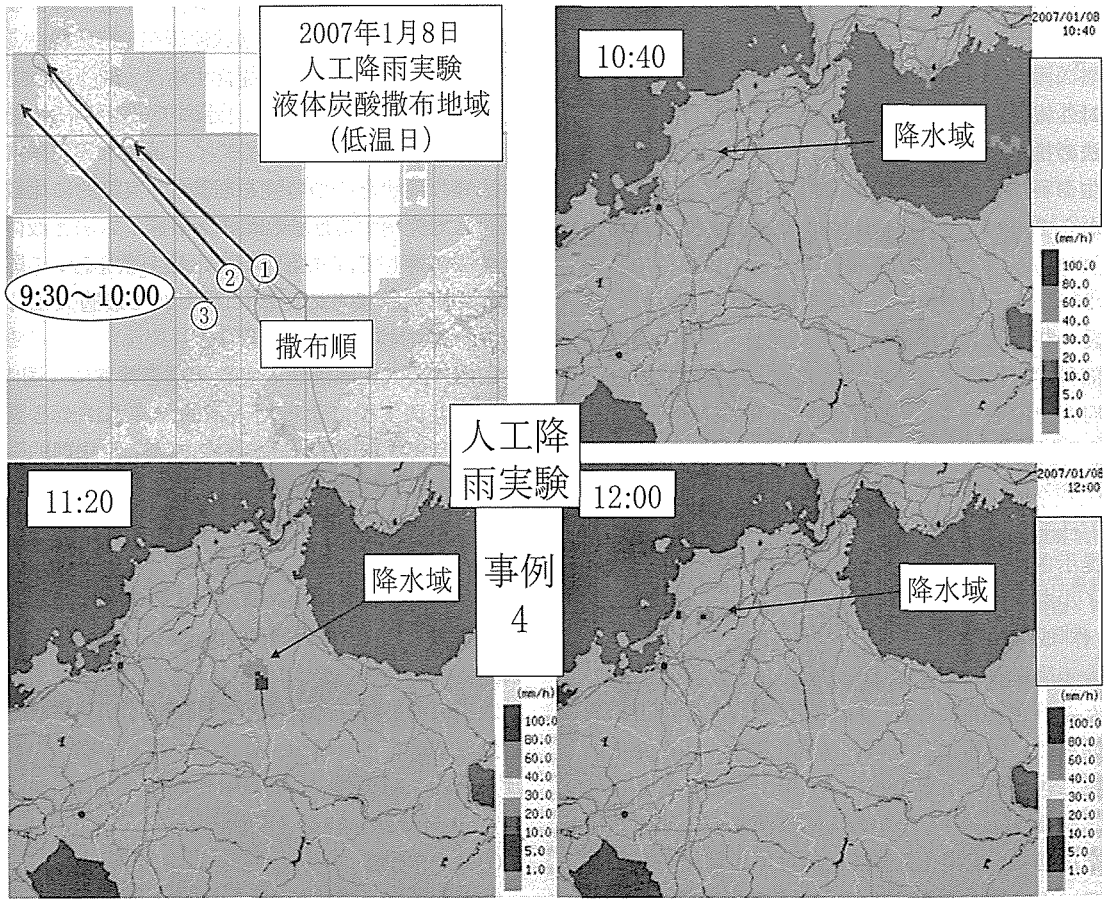

図 6　人工降雨法の成功事例（2007 年 1 月 8 日）

なお，2006年11月7日の実験では，結果的に同じ雲に2回，時間差をおいて噴射した結果となった．このことが，降水効率を向上させた可能性はある一方，過剰種撒を引き起こす可能性もあった訳で，液体炭酸撒布率の最適化実験も必要である．

また，図6の実験では内陸山地での上昇気流による雲の成長が影響している．2006年2月4日の実験でも雲の厚さは薄かったものの，標高1,000 m程度の背振山地に当たったため，山地による強制上昇気流によって雲の発達が再び促進され，降水現象がもたらされた．前述したように薄い雲でも，液体炭酸法のメリットが活かせれば，降水を引き起こすが，このような自然の持つ有効な条件が追加されると，人工降雨の効果を一層向上させる可能性があることが実験結果から確認された．

以上の知見を活かすとともに，さらに色々な条件下で実験をくり返して，技術書，マニュアル化の確立を図る必要がある．

4．人工降雨の提言の内容

対外報告「渇水対策・沙漠化防止に向けた人工降雨法の推進」は提言として日本学術会議・第二部（生命科学）農学基礎委員会農業生産環境工学分科会から2008年1月24日付けで公表された（真木ら 2008）．本報告は16名の委員と4名の協力者の計20名のメンバーによって検討され発行された．提言の相手先は内閣府・国土交通省・農林水産省・文部科学省・環境省・経済産業省・外務省および都道府県を中心とする国公立試験研究・行政機関，大学ならびに関連学協会と記述されているが，もちろん，最も重要な相手先は一般社会・国民である．貴重でユニークな提言となっている．

提示された要旨は以下の通りである．ここではスタイルを変えて，原文のまま示す．

(1)作成の背景

人工降雨法は，わが国はもとより世界の多くの国々の干害・渇水対策，および世界の1/3を占める乾燥地における地球規模の沙漠化防止，沙漠緑化の実現にきわめて有効な技術・方策であると考えられる．本報告は，いくつかの人工降雨法の広範囲な研究を推進し，実用化，普及に向けての種々の対応策について，提言を取りまとめたものである．

(2)現状および問題点

近年，地球温暖化，異常気象が懸念される中で，2005年に西日本では干害と風水害の両極端の気象災害が発生し，渇水対策に人工降雨実施が検討されたが，不測の大雨で中止となった．一方，世界的には干害・渇水対策と沙漠化防止・沙漠緑化が不可欠であり，その具体策としていくつかの人工降雨法が浮上する中で，技術的および社会・経済・政治的な制約で，普及し得ない問題がある．

(3)対外報告の内容

日本学術会議農学基礎委員会農業生産環境工学分科会は，わが国および世界の干害・渇水対策，沙漠化防止，沙漠緑化に向けて，研究・政策の方向性を検討してきた結果，人工降雨法の現段階におけるガイドラインの確立が緊急を要する，との結論に至った．以下の3項目を中心に，早急に対策を構築すべきことを，内閣府・国土交通省・農林水産省・文部科学省・環境省・経済産業省・外務省および都道府県を中心とする国公立試験研究・行政機関，大学ならびに関連学協会に提言する．

①人工降雨法に関する国内外のデータベースを構築し，ヨウ化銀・ドライアイス・散水・液体炭酸法等の現状とその特性を理論的・実験的に比較検討して究明する．とくにドライアイス法と液体炭酸法に対しては同条件下で比較実験を行い，国内外の実験結果との比較に基づいて最適人工降雨法を確立する必要がある．

②国内外の人工降雨法の実験結果を参考に，国内・国際共同実験によって人工的な降水に至る雲物理的反応を科学的・総合的に評価し，物理的降水形態・降水密度の評価法および費用対効果の評価法を確立し，実用・普及への技術手順に関する指導書（マニュアル）を作成する．

③上記の「人工降雨法の研究・実用化・普及」を推進するために，内閣府の主導の下に省庁横断型の連絡委員会等を緊急に設置する．

本提言の最終目的は，人工降雨の応用・普及である．以下に目次を示す．

はじめに

1）人工降雨法の特徴と現状

①ヨウ化銀法

②ドライアイス法

③散水法

④液体炭酸法
2) 人工降雨法のデータベース構築に関する提言
3) 人工降雨法の比較実験に関する提言
4) 人工降雨実験の評価法に関する提言
①人工降雨実験の評価法
②人工降雨実験の降水量評価法
③人工降雨実験の費用対効果評価法と大気環境評価法
5) 人工降雨法の研究・実用化・普及の組織体制確立に関する提言
おわりに
参考文献
参考資料 1～4
報告書参考資料
①人工降雨実験の失敗・成功事例
②1999 年 2 月 2 日の人工降雨実験（事例 1）
③2006 年 2 月 4 日の人工降雨実験（事例 2）
④2006 年 11 月 7 日の人工降雨実験（事例 3）
⑤2007 年 1 月 8 日の人工降雨実験（事例 4）
⑥降雨形態と貯水・利水・節水法
⑦人工降雨法の事業化と技術移転
その他の参考文献
参考図 1～6：ヨウ化銀人工降雨法の降水原理，ドライアイス人工降雨法の降水原理，液体炭酸人工降雨法の降水原理，人工降雨法の成功事例（2006 年 2 月 4 日，2006 年 11 月 7 日，2007 年 1 月 8 日）．

さて，以上が要旨と目次である．本文が A4 で 13 ページ，参考資料等が 12 ページ，残りが図 6 枚で 3 ページ，全体で 28 ページであり，決して大量ではない．なお，日本学術会議ホームページでは 25 ページ，図 6 枚の 31 ページとなっている（http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t50-1.pdf）．

5. おわりに

液体炭酸人工降雨法は概ね確立している．しかし，後一押しの状況である．すなわちダーウィンの海，すなわち死の谷（普及化への一歩手前か埋もれそうな技術の溜まり場）にあると思われる．この状況を脱しなければならないが，もしこの状態で埋もれてしまうと，水に苦しんでいる世界の人々，あるいは人類の喪失であるとまで思っている．

なお，本手法はすでに特許が米国，日本，カナダ，オーストラリアで取られている．事業として使用するには特許料が必要である．このことが普及に制限要因になっていることは推測されるが，経済的にそれほどの問題ではないと筆者らは思っている．このことで普及せず，地球上の人々が困るのであれば，それは本末転倒であると思われる．

人工降雨の提言は，日本学術会議・第二部（生命科学）農学基礎委員会農業と環境分科会による 2007 年 9 月 20 日付けの対外報告「魅力ある都市構築のための空間緑化－近未来のアーバン・グリーニングー」（真木ら 2007）の公表に引き続いている．これは都市の屋上緑化，壁面緑化，校庭芝生化の推進に関する提言である．なお，この対外報告は日本学術会議ホームページ中（http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t42-2.pdf）に掲載されている．

政府から一般社会までを対象に，人工降雨の提言が続けてできたことは幸いである．最後に，これらの 2 種類の提言が政府・社会・国民に対して幾分なりとも役立ち，社会に貢献できることを願っている．

引用文献

イノベーション 25 戦略会議 2007. 長期戦略指針，イノベーション 25. p79.
日本学術会議イノベーション推進検討委員会 2007. 科学者コミュニティが描く未来の社会. p232.
福田矩彦 1988. 気象工学－新しい気象制御の方法－. 日本気象学会・気象研究ノート 164:213.
真木太一・橋本康・奥島里美・三野徹・野口伸・青木正敏・礒田博子・大政謙次・後藤英司・鈴木義則・高辻正基・野並浩・橋口公一・早川誠而・村瀬治比古・山形俊男・脇水健次・西山浩司・鈴木賢士・川野哲也 2008. 対外報告，渇水対策・沙漠化防止に向けた人工降雨法の推進. 日本学術会議農学基礎委員会農業生産環境工学分科会. p28.
真木太一・橋本康・青木正敏・礒田博子・村上周三・古在豊樹・鈴木義則・高垣美智子・高倍鉄子・早川誠而・三野徹・宮崎毅・足永靖信・藤田茂・三坂育成・横山仁 2007. 対外報告，魅力ある都市構築のための空間緑化－近未来のアーバン・グリーニングー. 日本学術会議農学基礎委員会農業と環境分科会. p26.