

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 7 月 30 日現在

機関番号：82104

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23248042

研究課題名(和文)最適人工降雨法の開発と適用環境拡大に関する研究

研究課題名(英文) Research on the development of suitable technique of artificial rainfall and the magnification of application environment

研究代表者

真木 太一 (Maki, Taichi)

独立行政法人国際農林水産業研究センター・その他部局等・特定研究主査

研究者番号：80314970

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,800,000円、(間接経費) 10,740,000円

研究成果の概要(和文)：対流雲・層雲内(-2～-5℃)の下層付近に航空機に搭載したサイフォン式ボンベから液体炭酸を5～10g/sで散布することで人工降雪・降雨を起こさせることに成功した。2012年2月26～27日、2013年3月14～15日、12月15～16日に三宅島・御蔵島付近、また2013年12月26日に佐賀県唐津市付近および2013年12月27日に愛媛県西条市付近上空において液体炭酸散布実験を行った結果、30分後には風下側で航空機の窓に雨粒が当たる現象と雨脚を確認するとともに、レーダーまたは衛星画像で、雲の発達を確認した。特に、逆転層がある雲の場合には降水として落下し、雲が消える状況が衛星画像で観測された。

研究成果の概要(英文)：Liquid carbon dioxide was seeded at the seeding rate of 5-10 g/s by aircraft near the cloud bottom of convective or Stratus cloud of -2--5 C. Artificial rainfall experiments succeeded near Miyake and Mikura Islands, Tokyo on Feb. 26-27, 2012, Mar. 14-15 and Dec. 15-16, 2013, and near Karatsu, Saga on Dec. 26, 2013 and near Saijo, Ehime on Dec. 27, 2013. Rain particles hit on the front glass and vial, i.e., airmass with rain was appeared after 0.5 hour of seeding. Developed cloud was recognized by radar and/or satellite image. In case of inversion layer appeared in the cloud, disappeared cloud region was particularly found on the satellite image based on the change of rain from cloud.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業生産環境

キーワード：人工降雨 液体炭酸法 湯水 気象改良 水資源 航空機散布 積雲 人工降雨雲

1. 研究開始当初の背景

人工降雨は世界各国で過去 60 年間に、特に乾燥地域で実施されたが、多量の増雨にならず、特別な場合を除いて実用化していない。

本研究では、液体炭酸法を改良して多量の降水量の確保と降水可能範囲・環境の拡大を確立する。今後は 1)人工降雨の効果を科学的定量的に評価する手法を確立する、2)広範囲に人工降雨(降雪)域を発生させる技術を確立する、3)多量の水量を確実に確保する人工降雨法の技術を確立するであり、最適人工降雨法の開発と適用環境の範囲拡大を行う。

1)に関しては、ドライアイス法やヨウ化銀法では、人工の効果に比べて、自然の変動が大きいため、増雨効果の判定は難しい。従って、多くの国々の国民や研究者は人工降雨に注目してきたが、従来法では不十分であった。

2)、3)に対して、これまでに多量の水確保が実用化できない理由は、自然の雲の体積に比べて、人工降雨の効果が部分的にしか働かないため水蒸気・霧に対する浮力の効果で鉛直方向しか拡散しない傾向があり、雲内に十分に人工の氷晶が広がらない欠点があった。

これらの問題を解決する方法に液体炭酸散布法がある。これは、雲の下層への液体炭酸散布によって、積雲の下部に人工氷晶を多く作ることで、雲中を上昇させながら十分成長する時間を与えることであり、人工の効果が広範囲の雲内に作用し、その降水効果を 3 次元の容積として確実に及ぼすことである。

以上のことを認識して、液体炭酸法を利用するとともに、特にその手法を可能な限り改良し、最適散布時期・条件・空域等を決定して、降水可能環境の範囲拡大法を確立する。

2. 研究の目的

日本学術会議の対外報告「渇水対策・沙漠化防止に向けた人工降雨法の推進」(2008)に沿って、画期的な人工降雨法の開発と適用範囲の拡大を目指して、確実に、かつ多量の降水量を得られる新しい画期的な人工降雨法

を開発するとともに、主に寒候期に応用・利用できる技術を確立する。ヨウ化銀法やドライアイス法ではなく、液体炭酸法を利用して、その手法が確実に成功する気象条件を決定するとともに、観測・解析から最適化をはかり、応用可能な実施環境の拡大をはかる。そして、液体炭酸法の改良と暖候期に応用した場合の問題点を把握して、今後実施可能な技術開発を理論的・実験的に行い、人工降雨の事業化も視野に入れて研究を推進する。

3. 研究の方法

人工降雨法としての液体炭酸散布法は、降水現象に対して、広範囲の雲内に人工効果を及ぼすため、水資源として有効な広い降水域を作ることができる。今後は明瞭に人工効果が出る散布計画を作成し多数回実験する。液体炭酸散布による増雨効果を検証し、実用化の確立を行う。液体炭酸散布法による人工効果を自然の雲と比較した実験による観測・解析、各種気象・雲条件に対する最適の液体炭酸散布法の確立のための各種診断・数値モデルの応用、液体炭酸散布による増雨に基づく水資源確保への寄与度の確定、液体炭酸散布法による水資源量確保の評価、液体炭酸量の最適散布法の確立、液体炭酸人工降雨法の実用化、のために確実な液体炭酸人工降雨法を完成させる。

4. 研究成果

23 年度は、最適人工降雨法の開発として、人工降雨効果の科学的評価、広範な人工降雨域の形成技術の開発、多量の水量確保の確立を図るために液体炭酸法実験で確認する。北部九州で 2012 年 1 月 27 日と 2 月 2 日に約 1km 厚の層積雲の下層部に航空機により液体炭酸を散布した結果、液体雲水の雲から氷晶を含む雲へ変化した。三宅島・御蔵島付近で 2 月 26 日に、三宅島の西空域で液体炭酸を高度 1800m の雲底付近で散布 40 分後、上空の対流雲が発達し雲頂高度は約 3000m に

達した。2月27日には三宅島の西空域で液体炭酸を高度約1800mの雲低付近で散布後、上空の対流雲が発達し雲頂高度は約4000mに発達した。また2次的効果として御蔵島の東北東に線状の積雲がレーダーで確認できた。

24年度は、人工降雨実験を 北部九州と東京都三宅島・御蔵島で2013年3月14日に実施した。14日には、液体炭酸(散布率5g/s)を航空機より厚さ1400m、高度1100mで散布した。雲頂付近に気温の逆転層があり、雲内が氷点下であった。雲頂と雲底付近の風向が逆向きで、下層域の風速が大きく、約20m/sであった。0.5~1時間後に人工対流雲から雨脚が発生するとともに、雲が雨に変わって消えたことで、幅約2km、距離50kmにわたって線状の晴天域が発生した。約2時間後にはレーダーに直径50kmの晴天域が確認できた。

平成25年度は、12月15~16日に三宅島・御蔵島付近、12月26日に佐賀県唐津市付近、12月27日に愛媛県西条市付近での航空機による液体炭酸散布実験をした。

12月15日に御蔵島西方30kmで厚さ760mの薄い層積雲に、気温-3、北西風時に4.0g/sで約18分間、散布高度1370mで散布した結果、高度2740~3890mに気温逆転層が顕著にあったため、機体窓への雨粒及び雲底下に雨脚を確認するとともに、散布0.5~1時間後に幅2~3kmに線状に雲が消え、やがて雲に穴が開き、衛星画像上では直径約50kmの雲が消えた状況を確認した。消えた雲は雨になり、約180万トンの降水量と推定された。12月16日には三宅島の北方40kmで厚さ610mの薄い雲に、気温-2、散布高度1430mで散布した結果、南北に連なる雲が明確に発達し、散布後15分で機体窓に雨粒、40分後に雨脚を観測した。散布雲は南~南西の風によって流れたため、散布域の北側に人工雲域を衛星画像で確認した。12月26日には高度2600mで厚さ1700mの層状雲に、-4、西南西風時に11g/sで約10分間散布した結果、

雲は高度3500mに発達し、1時間後に宗像市付近で、1.5時間後に北九州市付近で明確な人工降雨域をレーダーで確認できた。12月27日には西条市西方の高度1370mで、気温-5、風向西寄り時に5.5g/sで11時23~27分に散布した結果、11時45分頃に西条市中心街でやや強めの降雨があり、西条アメダスで0.5mmの降水を観測した後、急速に晴天となった。新居浜市および四国中央市の南部の山間部では散布30分後に降雨・降雪が目視されるとともに、1時間後までには晴天となった。以上の実験は全て成功しており、液体炭酸人工降雨法の実用化が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

1) Taichi Maki, Osamu Morita, Yoshinori Suzuki and Kenji Wakimizu, Artificial Rainfall Produced by Seeding with Liquid Carbon Dioxide at Miyake and Mikura Islands, Japan. *J. Developments in Sustainable Agriculture*, Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba, **8**(1), 13-24, 2013

2) Taichi Maki, Osamu Morita, Yoshinori Suzuki and Kenji Wakimizu, Artificial Rainfall Technique Based on the Aircraft Seeding of Liquid Carbon Dioxide near Miyake and Mikura Islands, Tokyo, Japan. *J. Agric. Meteorol. (J-stage)*, **69**(3), 147-157, 2013

3) 真木太一・守田治・鈴木義則・脇水健次, 三宅島・御蔵島での航空機散布による液体炭酸人工降雨実験, 農業および園芸, **89**(1), 9~22, 2014

[学会発表](計 25件)

1) Taichi Maki, Research on Windbreaks, Meteorological Improvement, Katabatic Wind, Desertification, Desert Climate, Yellow Sand and Artificial Rainfall, CIGR Inter. Symp., Sep. 22, 2011, Tower Hall Funabori, Tokyo

2)Kenji Wakimizu, Koji Nishiyama, Kikuro Tomine, Yoshinori Suzuki and Taichi Maki, Enhancement of Precipitation by Liquid Carbon Dioxide Seeding in Northern Kyushu, Japan. CIGR Inter. Symp., Sep. 22, 2011, Tower Hall Funabori, Tokyo

3)Taichi Maki and Kenji Wakimizu, Experiments of Artificial Precipitation at Fukuoka and Saga Region, CIGR Inter. Symp., Sep. 22, 2011, Tower Hall Funabori, Tokyo

4)脇水健次・西村祐一郎・西山浩司・真木太一・鈴木義則, 寒候期における降りそうで降らない雲からの人工降水実験, 2011年11月5日, 日本雨水資源化システム学会, 愛媛大学, 松山市

5)脇水健次・松村直紀・西山浩司・遠峰菊郎・真木太一・鈴木義則, 亜熱帯地域における液体炭酸人工降雨法の可能性(1), 日本農業気象学会全国大会, 2012年3月16日, 大阪府立大学, 堺市

6)真木太一・守田 治・鈴木義則・脇水健次・西山浩司, 三宅島上空での航空機液体炭酸散布による人工降雨実験の成功, 農業環境工学関連学会合同大会, 2012年9月14日, 宇都宮大学, 宇都宮市

7)西山浩司・脇水健次・鈴木義則・真木太一・守田 治・遠峰菊郎, 人工降雨の評価に適した冬季の雲の条件, 水文・水資源学会, 2012年9月27日, 西区文化センター, 広島市

8)真木太一・守田 治・鈴木義則・脇水健次・西山浩司, 三宅島・御蔵島上空での液体炭酸航空機散布法による人工降雨の成功, 日本気象学会, 2012年10月4日, 北海道大学, 札幌市

9)Taichi MAKI, Artificial Rainfall Produced by the Seeding of Liquid Carbon Dioxide at Miyake and Mikura Islands in Japan, UNESCO-APEID 2012 Inter. Sympto. on Agricultural Education, Oct. 29, 2012, Univ. of Tsukuba, Tsukuba

10)Koji Nishiyama, Kenji Wakimizu, Taichi

Maki, Yoshinori Suzuki, Osamu Morita, Kikuro Tomine, The application of time-dependent ice crystal trajectory and growth model for the evaluation of cloud seeding experiment using liquid carbon dioxide, American Geophysical Union, Dec. 3, 2012, San Francisco, USA

11)Kenji Wakimizu, Koji Nishiyama, Kikuro Tomine, Taichi Maki, Yoshinori Suzuki, Osamu Morita, Seeding Experiment of Liquid Carbon Dioxide for Enhancing Winter-time Precipitation in Saga Prefecture, Northern Kyushu, Japan, American Geophysical Union, Dec. 3, 2012, San Francisco, USA

12)Taichi Maki, Osamu Morita, Yoshinori Suzuki and Kenji Wakimizu, Artificial Rainfall Technique Based on the Aircraft Seeding of Liquid Carbon Dioxide near Miyake and Mikura Islands, Tokyo, Japan. ISAM, March 28, 2013, Ishikawa Prefectural University, Ishikawa

13)脇水健次・西山浩司・遠峰菊郎・守田治・真木太一・鈴木義則, 寒候期の薄い積雲を対象にした航空機による雲底液体炭酸散布人工降雨実験, 日本気象学会, 2013年5月15日, 国立青少年総合センター, 東京都

14)西山浩司・脇水健次・鈴木義則・真木太一・守田治・遠峰菊郎, 氷晶の成長及び軌跡推定モデルを用いた人工降雨実験の評価, 日本気象学会, 2013年5月15日, 国立青少年総合センター, 東京都

15)真木太一・守田治・鈴木義則・脇水健次・西山浩司, 東京都三宅島・御蔵島上空での液体炭酸散布による人工降雨, 日本気象学会, 2013年5月15日, 国立青少年総合センター, 東京都

16)守田治・真木太一・鈴木義則・脇水健次・西山浩司, 2012年2月三宅島周辺での人工降雨実験, 日本気象学会, 2013年5月15日, 国立青少年総合センター, 東京都

17)真木太一・守田治・鈴木義則・脇水健次・西山浩司, 三宅島・御蔵島付近での航空機液

体炭酸散布法による人工降雨実験，日本沙漠学会，2013年5月26日，広島大，東広島市
18) Koji Nishiyama, Kenji Wakimizu, Taichi Maki, Yoshinori Suzuki, Osamu Morita and Kikuro Tomine, Evaluation of cloud seeding results using time-dependent ice crystal growth and trajectory model, July 8, 2013, Davos, Switzerland

19) 真木太一・守田治・鈴木義則・脇水健次・西山浩司，液体炭酸散布による三宅島・御蔵島付近での人工降雨実験，日本気象学会，2013年11月21日，国際センター，仙台市

20) 真木太一・守田治・鈴木義則・脇水健次・西山浩司，2013年3月14日の三宅島・御蔵島付近での液体炭酸散布による人工降雨実験，日本農業気象学会関東支部会，2013年11月8日，筑波宇宙センター，つくば市

21) 真木太一・西山浩司・守田治・鈴木義則・脇水健次，2013年5月28日の志摩半島南方海上での液体炭酸散布による人工降雨実験，日本農業気象学会関東支部会，2013年11月8日，筑波宇宙センター，つくば市

22) Taichi Maki, Osamu Morita, Yoshinori Suzuki and Kenji Wakimizu, Artificial Rainfall by the Seeding of Liquid Carbon Dioxide near Miyake and Mikura Islands on February in 2012 and March in 2013, Desert Tech. 11 Inter. Conf., Nov. 19, 2013, San Antonio, Texas, USA

23) K. Wakimizu, K. Nishiyama, N. Matsumura, T. Maki, Y. Suzuki and O. Morita, Frequency analysis on suitable convective clouds for artificially increasing rainfall in the northern part of Kyushu, Japan, using meteorological satellite (GMS-5), 94th AMS, Feb. 5, 2014, Atlanta, USA

24) 真木太一・西山浩司・守田治・鈴木義則・脇水健次，暖候期（2013年5月28日）の志摩半島南方空域での液体炭酸人工降雨実験，日本農業気象学会全国大会，2014年3月20日，北海道大学，札幌市

25) Taichi Maki, Osamu Morita, Yoshinori

Suzuki, Kenji Wakimizu and Koji Nishiyama, Artificial rainfall experiment by seeding liquid carbon dioxide at Miyake and Mikura Islands in the Izu Islands of Tokyo on March 14 in 2013. ISAM, Mar. 20, 2014, Hokkaido Univ., Sapporo

〔図書〕(計 4件)

1) 真木太一・鈴木義則・脇水健次・西山浩司 (編著)，『人工降雨 - 渇水対策から水資源まで - 』，技報堂出版，pp.176，2012

2) 真木太一，『黄砂と口蹄疫 - 大気汚染物質と病原微生物 - 』，技報堂出版，pp.197，2012

3) 真木太一・真木みどり，人工降雨，『小笠原案内 気象・自然・歴史・文化』，南方新社，41～42，2012

4) 真木太一，人工降雨，『気象・気候からみた沖縄ガイド』，海風社，22～25，2012

〔その他〕
ホームページ等

<http://www.arena.tsukuba.ac.jp/center/maki.html>

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%9C%9F%E6%9C%A8%E5%A4%AA%E4%B8%80>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

真木太一

(Maki Taichi)

研究者番号：80314970

(2) 研究分担者

脇水健次

(Wakimizu Kenji)

研究者番号：00240903

西山浩司

(Nishiyama Koji)

研究者番号：20264070

守田 治

(Morita Osamu)

研究者番号：70112290