日本農業気象学会関東支部

2013 年度例会

講 演 要 旨 集

第 10 号

2013 年 11 月 8 日（金）
宇宙航空研究開発機構　筑波宇宙センター
総合開発推進棟 1F 大会議室　（茨城県つくば市）

主催：　日本農業気象学会関東支部
後援：　宇宙航空研究開発機構（JAXA）

日本農業気象学会関東支部 2013 年度例会　講演要旨集

目　次

例会案内 1

一般講演スケジュール 3

シンポジウム講演要旨

植物機能のリモセン・空間情報解析と農業・環境分野への応用（過去・現在・未来）
大政謙次 4

JAXA の地球観測衛星の概要
金子豊 8

地球観測衛星データの食料安全保障分野への利用
大吉慶 10

国内農業分野におけるリモートセンシング技術の活用
石塚直樹 12

メッシュ農業気象データと空間情報としての利用
大野宏之 14

一般研究発表講演要旨

主要露地野菜の 3 次メッシュ・旬別作付け実況の推定法の開発と課題
○大原源二（中央農研）・岡田邦彦（野茶研）・中川博視（中央農研） 16

長野県塩尻市における裸地状態の農地から発生したダストについて
○天野晃太（千葉大院園芸）・松岡延浩（千葉大院園芸）・間野正美（千葉大院園芸）・矢野翔平（筑波大）・鈴木純（信大農） 17

ハウス育苗時の群落内光環境がトマト苗の生育に及ぼす影響
○南谷健司・石神靖弘・彦坂晶子・後藤英司（千葉大院園芸） 18

古代奈良の旱魃気候と水田灌漑としての溜池について
○福岡義隆（立正大・広島大名誉教授）・丸本美紀（お茶水女子大院） 19

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
○真木太一（九州大名誉教授）・守田治（福岡大環境未来オフィス）・鈴木義則（九州大名誉教授）・脇水健次(九大院農)・西山浩司（九大院工） 20

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
○真木太一（九州大名誉教授）・西山浩司（九大院工）・守田治（福岡大学環境未来オフィス）・鈴木義則（九大名誉教授）・脇水健次(九大院農) 21

日本農業気象学会関東支部 2013 年度例会

開催日：2013 年 11 月 8 日（金）

会　場：宇宙航空研究開発機構　筑波宇宙センター
総合開発推進棟 1 F 大会議室
（〒305-8505　茨城県つくば市千現 2-1-1）
http://www.jaxa.jp/about/centers/tksc/index_j.html

スケジュール：

9:00～10:30　一般講演発表会
11:00～12:20　施設見学会（JAXA 見学ツアー「宇宙飛行士コース」、定員 40 名）
12:30～13:20　関東支部　評議員会
13:30～13:50　関東支部　総会
14:00～17:00　シンポジウム：リモートセンシング・空間情報と農業
14:00～14:45 大政　謙次　氏（東京大学教授、日本農業気象学会会長）
「植物機能のリモセン・空間情報解析と農業・環境分野への応用（過去・現在・未来）」
14:45～15:15 金子　豊　氏（JAXA）
「JAXA の地球観測衛星の概要」
15:30～16:00 大吉　慶　氏（JAXA）
「地球観測衛星データの食料安全保障分野への利用」
16:00～16:30 石塚　直樹　氏（農業環境技術研究所）
「国内農業分野におけるリモートセンシング技術の活用」
16:30～17:00 大野　宏之　氏（中央農業総合研究センター）
「メッシュ農業気象データと空間情報としての利用」
18:00～　懇親会（「つくば」駅近隣にて開催）

発表時の使用機器について

会場にはプロジェクターと Power Point がインストールされた Windows PC を用意します。Windows PC をご利用の方は、講演用のファイルを USB メモリー等にてご準備下さい。Macintosh PC でのご発表を希望される方は自身の PC をご持参下さい。

施設見学会について

一般講演発表会後に、JAXA 見学ツアー「宇宙飛行士コース」を開催いたします（定員 40 名、参加申込は締め切りました）。見学ツアーの詳細については下記のウェブサイトをご参照下さい。

http://www.jaxa.jp/visit/tsukuba/tour_j.html

参加費用：

シンポジウム

会員、非会員に関わらず無料

一般講演発表会

会員	（一般）無料	（学生）無料
非会員	（一般）500 円	（学生）無料

※会場にて入会手続きをしていただけると無料となります。

※懇親会費は 4,000 円程度を予定しております。

会場への交通：

下記のウェブサイトをご参照下さい。

アクセスマップ：http://www.jaxa.jp/about/centers/tksc/traffic_j.html

構内マップ：http://www.jaxa.jp/about/centers/tksc/map_j.html

日本農業気象学会関東支部2013 年度例会一般講演スケジュール

9:00-9:15　○大原源二（中央農研）・岡田邦彦（野茶研）・中川博視（中央農研）
「主要露地野菜の3次メッシュ・旬別作付け実況の推定法の開発と課題」

9:15-9:30　○天野晃太（千葉大院園芸）・松岡延浩（千葉大院園芸）・間野正美（千葉大院園芸）・矢野翔平（筑波大）・鈴木純（信大農）
「長野県塩尻市における裸地状態の農地から発生したダストについて」

9:30-9:45　○南谷健司・石神靖弘・彦坂晶子・後藤英司（千葉大院園芸）
「ハウス育苗時の群落内光環境がトマト苗の生育に及ぼす影響」

9:45-10:00　○福岡義隆（立正大・広島大名誉教授）・丸本美紀（お茶水女子大院）
「古代奈良の旱魃気候と水田灌漑としての溜池について」

10:00-1015　○真木太一（九州大名誉教授）・守田治（福岡大環境未来オフィス）・鈴木義則（九州大名誉教授）・脇水健次(九大院農)・西山浩司（九大院工）
「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」

10:15-10:30　○真木太一（九州大名誉教授）・西山浩司（九大院工）・守田治（福岡大学環境未来オフィス）・鈴木義則（九大名誉教授）・脇水健次(九大院農)
「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」

植物機能のリモセン・空間情報解析と農業・環境分野への応用
（過去・現在・未来）

大政謙次（東京大学大学院農学生命科学研究科）

リモートセンシング（リモセン）は対象を遠隔から計測する技術であり、その進歩には著しいものがある。これは、センサなどの要素技術の進歩に加えて、センサを搭載するプラットフォームや情報通信技術(ICT)などの進歩によるところが大きい。そして、例えば、地球域観測の分野においては、人工衛星や航空機などの広域リモセンだけでなく、地上観測による検証を含めた階層的リモセンへと発展してきている。また、農業分野では、ICTを仲介として、気象や土壌などの環境情報や作物情報を計測し、知能ベース化とクラウドコンピューテイングにより、生産段階だけでなく、流通や消費段階でのイノベーションに利用しようというスマート農業、さらにはアンビエント農業への期待がある。その際、非破壊、非接触のバイオイメージングを含めた植物機能リモセンの重要性が認識されている。さらに、植物科学の分野でも、遺伝子・細胞のレベルから、個体レベルまでを対象としたバイオイメージングの研究が盛んに行われており、最近では、その中でも特に、植物機能リモセンの技術を用いて、植物のもつ表現型(Phenotype)を遺伝子型と環境の両面から研究し、植物科学の分野だけでなく、育種や栽培、環境管理などに生かしていこうという植物フェノミクスの研究が世界的に注目されている。

図１は、分子から地球観測のレベルまでを対象としたイメージング技術と生命科学や生物生産、環境などの分野への利用について、流れ図として簡単に図化したものである。この図では、植物個体レベルのスケールを大凡の境界として、バイオイメージングと広域を対象とした狭義のリモセンに分けているが、上述のように、バイオイメージングの中にもリモセンの技術が含まれており、リモートイメージングと呼ばれるこれらの分野も含めて広義のリモセンとして扱ってもよい。計測された画像情報は、実験室やフィールド観測により検証され、また、モデルや地理空間情報と同化することにより，右端の例に示したような基礎科学分野に加えて、農業や環境などの分野における様々な用途に利用される。

人工衛星などからの広域リモセンの技術的トレンドは、高空間解像度化、高波長分解能化、３次元画像化、高頻度観測、レーザーやマイクロ波などの能動的センサや各種センサのコンポジット利用などである。植物機能を計測する場合には、人工衛星などからの広域リモセンでは、特に、空間解像度と高頻度観測の点で問題がある。このため、高空間解像度のセンサ搭載が可能で、より自由度のあるプラットホームからのリモセンが必要とされ、GPS などの衛星測位システムの受信機や IMU(慣性計測装置)、無線通信システムなどを搭載したヘリコプターや飛行船、小型無人飛行機（UAV)、また、地上での計測車や農作業車、さらに、高所作業用ブームや伸縮ポールなどを利用したプラットホームからの植物機能リモセン（リモートイメージング）技術が開発されている(図３)。特に、最近では、搭載重量が数 kg、飛行時間が 10-20 分程度のマルチコプターと呼ばれる電池駆動の小型 UAV が比較的安く入手でき、普及してきている。

リモートイメージングは、葉のレベルから植物個体、さらには個体群までを対象としたリモセンまで多種多様であり、遺伝子のスクリーニングや解析などの基礎科学研究ためのバイオイメージングの分野も含んでいる。最近、植物フェノミクスの研究分野では、遺伝

子や細胞レベルから個体レベルまでの様々な植物情報を数量化し、統計的に処理する必要から、リモートイメージングの積極的な導入が図られている。また、植物工場や土地利用型の農業においても植物診断や自動化のための導入が盛んである。リモートイメージングは、通常のカラーカメラのレベルから、可視から近赤外域を対象としたマルチバンドカメラやハイパースペクトルカメラ、また、熱画像計測用のカメラ、受動的あるいは能動的な蛍光計測システム、３次元計測のためのレンジライダーなど、様々なものが市販あるいは研究用に開発されている。そして、単独使用での利用だけでなく、階層的複合リモセンにも利用される。さらに、これらの分野では、上述したように無線通信やインターネットなどの情報通信技術（ICT）や地理空間情報システム(GIS)、衛星測位システム(SPS)などと組み合わせたシステムの開発が期待される。また、データ量が膨大（ビッグデータ）になることから、クラウドコンピューティングによるサービスが求められる。筆者の研究室でも、実際に、衛星データや地理空間情報、GCM の予測データなどを、世界各国のデータベースセンターからネットワーク経由で取得し、解析に利用している。また、海外に設置した Web カメラを日本からの信号で制御し、観測に利用したり、国内外の共同研究機関とネットワークを介して計測データを共有したりしている（図４）。

本講演では、上記のことを踏まえ、農業・環境分野のリモセンの利用、特に、高分解能・機能リモセンの利用について、筆者らが行ってきた研究を中心に紹介する。

参考文献

1) 大政謙次・相賀一郎(1981)画像処理による植物の生育・生理反応の評価．遺伝 35:25-31

2) 大政謙次・近藤矩朗・井上頼直（編著）(1988) 植物の計測と診断．朝倉書店

3) Omasa K (1990) Image instrumentation methods of plant analysis. HF Linskens and JF Jackson (eds) Modern Methods of Plant Analysis. New Ser. Vol.11. 203-243 Springer.

4) Omasa K and Croxdale JG (1992) Image analysis of stomatal movements and gas exchange. DP Häder (ed) Image Analysis in Biology. pp.171-193, CRC Press.

5) 大政謙次・恒川篤史・福原道一（監訳）(1993) 生物圏機能のリモートセンシング（HJ Hobbs and HA Mooney, eds）シュプリンガー

6) Omasa K, Saji H, Youssefian S and Kondo N,eds (2002) Air Pollution and Plant Biotechnology -Prospects for Phytomonitoring and Phytoremediation. Springer-Verlag

7) Omasa K, Hosoi F., Konishi A. (2007) 3D lidar imaging for detecting and understanding plant responses and canopy structure. J. Exp. Bot. 58:881-898

8) 大政謙次（編著）(2007)農業・環境分野における先端的画像情報利用　農業電化協会

9) 大政謙次(2011)植物機能のリモートセンシングと空間情報解析に関する研究．　平成２３年度　日本農学賞論文要旨．日本農学会　1-3

10) 久米 篤・大政謙次（監訳）(2013) 植生のリモートセンシング（HG Jones and RA Vaughan）森北出版

また、詳細については、下記のホームページの著書や論文を参照されたい。

（論文）http://joho1.en.a.u-tokyo.ac.jp/Omasa/papers20090119.html

（著書・解説）http://joho1.en.a.u-tokyo.ac.jp/Omasa/books20090123.html

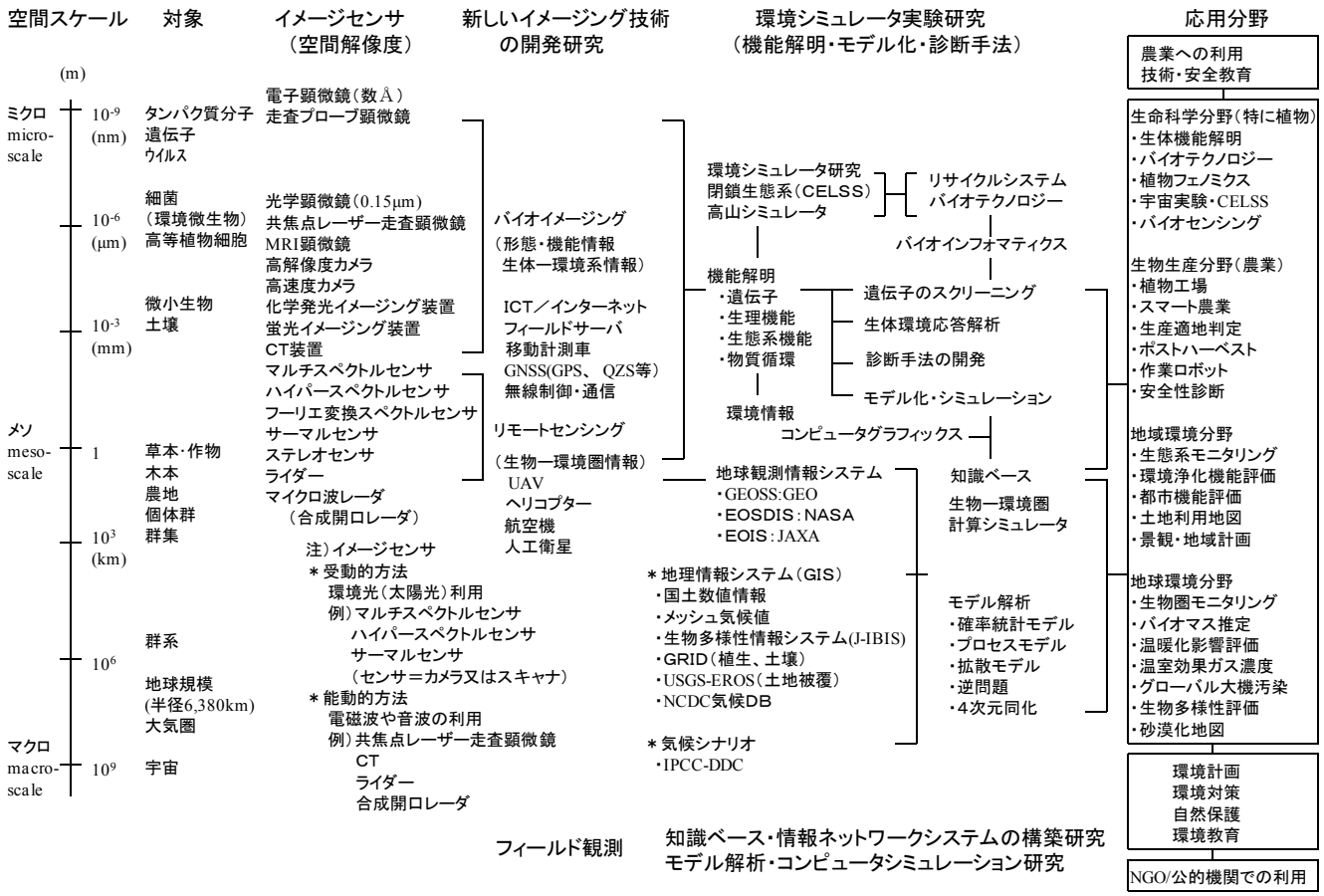


図 1 植物機能リモセンと農業・環境分野における情報利用の流れ図

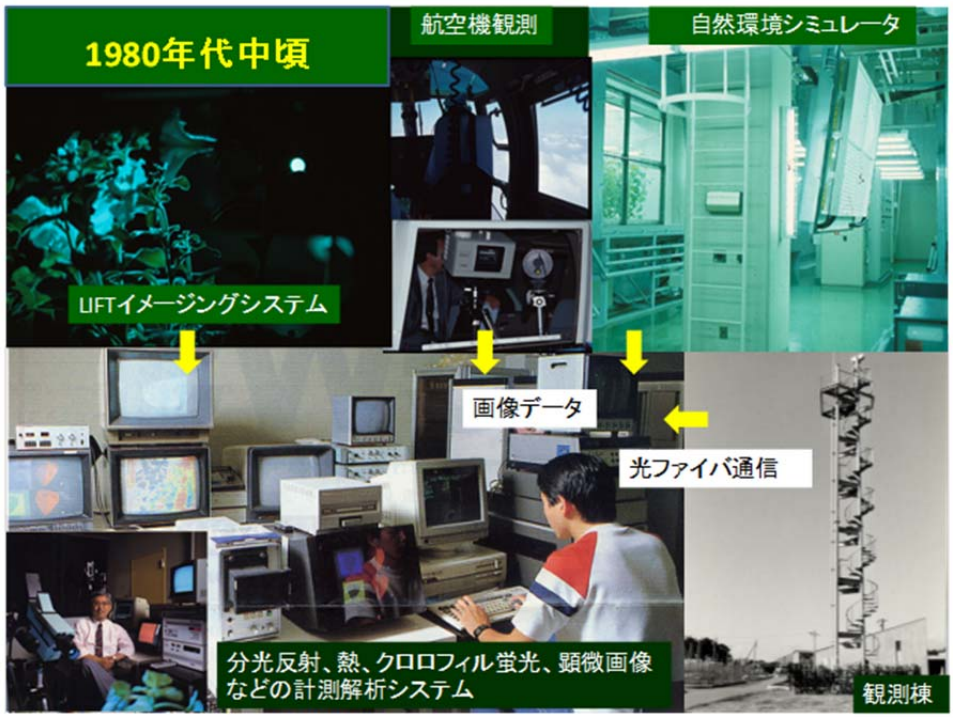


図 2　1980 年代中頃に筆者らが開発した植物機能の画像計測処理システム（国立公害研究所：現国立環境研究所）。左上は光合成機能診断のための LIFT(Laser Induced Fluorescence Transients)イメージングシステムによる植物計測の例。

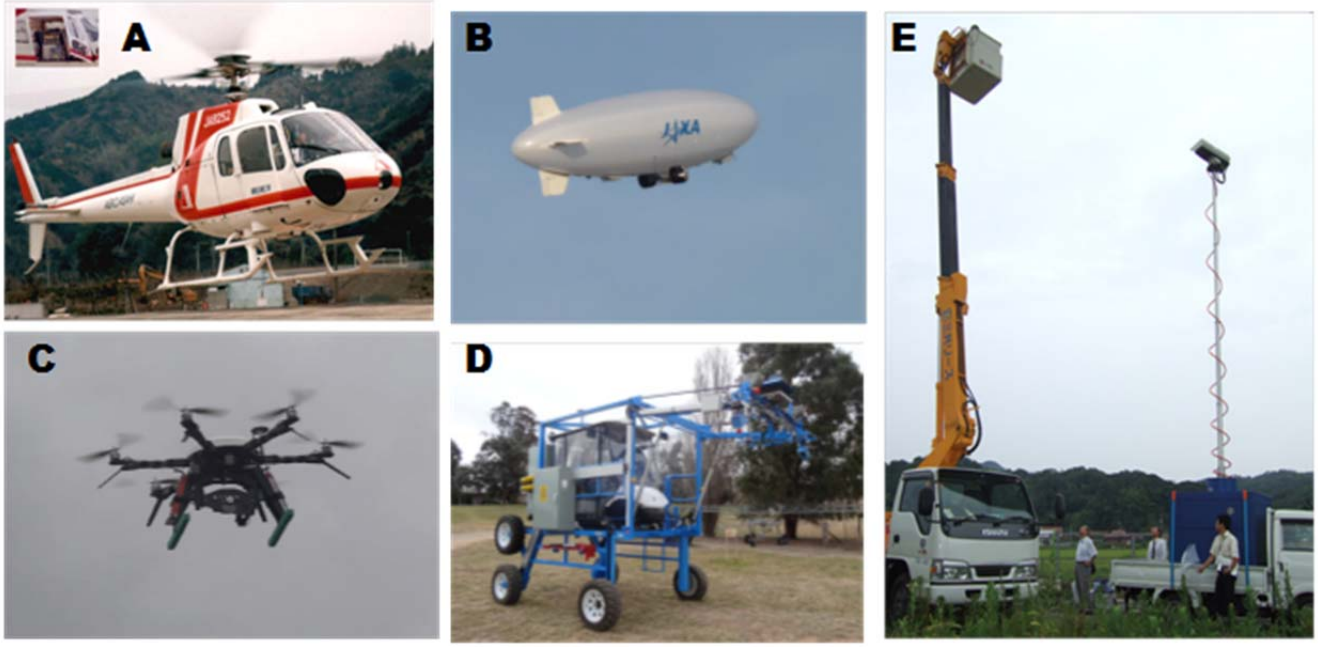


図 3 高空間解像度センサが搭載可能で、高頻度観測が可能なプラットホーム

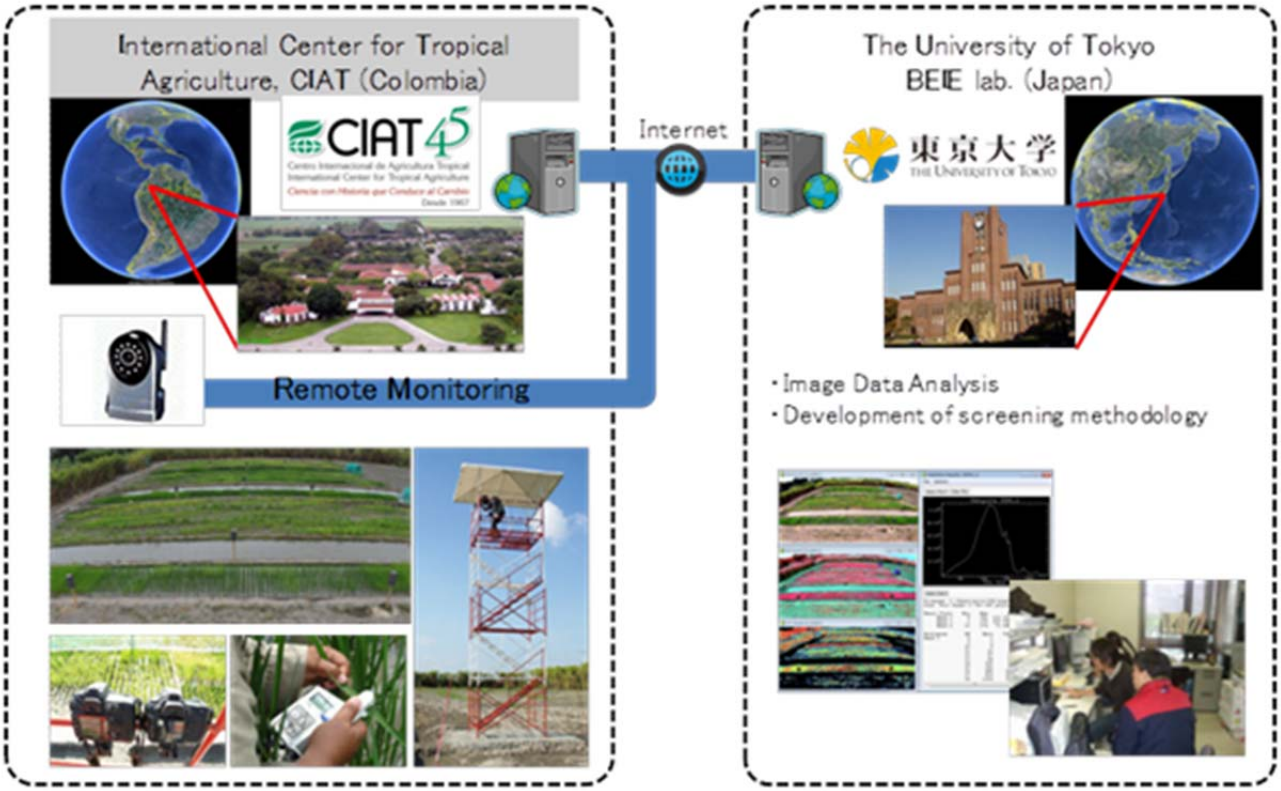


図 4　コロンビア CIAT とのイネのフィールドフェノミクスのための共同研究

JAXA の地球観測衛星の概要

◦金子　豊（宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター）

1. はじめに

本格的な地球観測衛星である 1987 年の海洋観測技術衛星（MOS）を打ち上げて以来、JAXA は、地球の環境を観測し社会に役立てることを目的に、様々な地球観測衛星を開発・運用してきた。衛星による宇宙からの地球観測は、グローバルに、一様な精度で、繰り返し観測できる優れた観測手段である。昨今の地球温暖化に伴う地球規模の気候変動をよりよく理解するための手段として、地球観測衛星はますます期待されている。本発表では、これまでの JAXA の地球観測衛星の成果と今後の計画について報告する。

2. JAXA 地球観測衛星の経緯

JAXA の前身である当時の宇宙開発事業団（NASDA)は、1977 年に、静止気象衛星（GMS)「ひまわり」1 号を打ち上げ、宇宙からの地球画像、海面温度等を観測した。「ひまわり」は、1995 年の 5 号機まで継続的に NASDA が開発・運用していたが、1999 年の運輸多目的衛星（MTSAT)以降、現在の「ひまわり」7 号に至るまで、国土交通省/気象庁により運用が行われ、既にインフラとして気象予報等に不可欠な手段となっている。静止衛星以外では、NASDA は、1987 年の海洋観測技術衛星(MOS)、1992 年の地球資源衛星（JERS)の開発・打上げを経て、地球環境のグローバルな変化を監視すべく大型の地球観測プラットフォーム技術衛星（ADEOS)「みどり」を開発し 1996 年に打ち上げた。残念ながら、太陽電池パドルの破損により約 10 カ月の寿命となったが、その間、高性能可視近赤外放射計(AVNIR)、海色海温走査放射計（OCTS)などの複数のセンサによる観測で総合的な地球環境の理解に大きく貢献した。ADEOS の後継ミッションとして、降水量や海面温度等を観測する高性能マイクロ波放射計（AMSR)と海色や植生分布等を観測するグローバル･イメージャ(GLI)を搭載した ADEOS-II「みどり」2 号を 2002 年に打ち上げたが電源系の不具合により 10 カ月程度の運用で停止した。これらの衛星不具合と、度重なる H-II ロケットの打上げ失敗により、JAXA の地球観測衛星はしばらく停滞したが、この間、技術的な総点検や信頼性の向上を図った結果、陸域観測技術衛星(ALOS)以降の確実な地球観測衛星を実現している。

3. 最近の JAXA 地球観測衛星の概要と成果

(1)陸域観測技術衛星(ALOS)「だいち」

2006 年に打ち上げられた「だいち」は、光学センサ（AVNIR)、合成開口レーダ（PALSAR)とともに、2 万 5 千万分の 1 の地図を 3 方向立体視観測で作成するカメラ(PRISM)を搭載した衛星である。PALSAR により、世界で初めて全球の 10m 分解能の森林・非森林の分類図を作成し、森林炭素量の把握に役立っている(図 1)。また、PRISM の観測データは、国土地理院の地図作成にも活用されている。

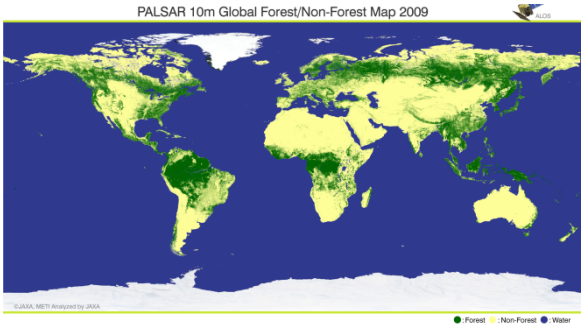


図 1　全球森林・非森林分類図（2009 年分）

(2)温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)「いぶき」

2009 年 1 月に打ち上げられた「いぶき」は、地球温暖化の原因となる二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの濃度分布を観測する衛星である。濃度分布の結果の一例を図 2 に示す。観測結果は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 第 5 次報告書にも

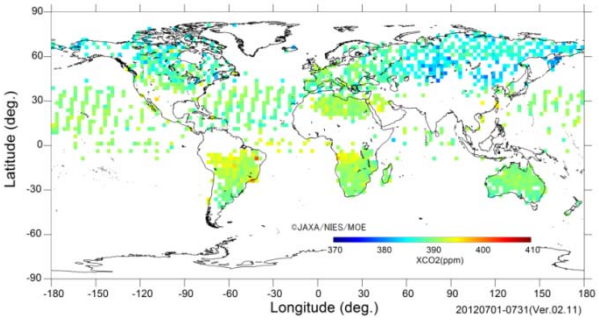


図 2　二酸化炭素カラム平均濃度の分布（2012 年 7 月）

引用され、地球温暖化予測に貢献している。

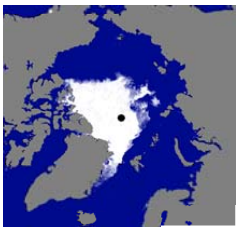


図 3 北極域の海氷分布
（2012 年 9 月）

(3)水循環変動観測衛星(GCOM-W1)「しずく」

2012 年 5 月に打ち上げられた「しずく」は、水循環に関わる降水、土壌水分、海氷分布などの観測を行っている。特に、2012 年 9 月の観測史上最少記録を更新した北極の海氷分布を観測したのは記憶に新しい（図 3）。

4. 当面の主な JAXA 地球観測衛星の計画

(1)全球降水観測計画(GPM)／二周波降水レーダ(DPR)

GPM は、日米による GPM 主衛星を中心とした衛星群により、全球降水分布を高精度・高頻度で観測するものである（図 4）。JAXA は、TRMM 衛星や静止気象衛星のデータを使って、全球降雨図（GSMaP）を作成している（図 5）。GSMaP は 4 時間後の降雨状況を 1 時間ごとに更新しており、水資源管理、災害管理の分野で多く利用されている。GPM の観測データを使用することにより更に高精度化する計画である。

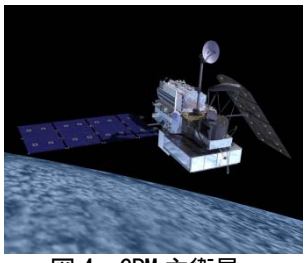


図 4 GPM 主衛星

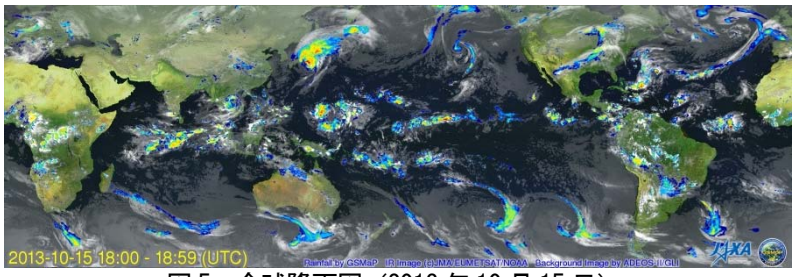


図 5 全球降雨図（2013 年 10 月 15 日）

(2) 陸域観測技術衛星 2 号(ALOS-2)「だいち 2 号」

ALOS-2 は、ALOS の後継機で、PALSAR を高分解能・高機能化した合成開口レーダを搭載し（図 6）、公共安全の確保、国土保全管理、食料供給の円滑化などを目的にしている。

図 6 だいち 2 号

(3)気候変動観測衛星(GCOM-C1)

GCOM-C1（図 7）は、ADEOS-II の GLI を高性能化した多波長光学放射計（SGLI)を搭載し、250m 分解能で、植生、植物プランクトン、流氷などを長期間・高頻度で観測することを目的としている。これらのデータは、気象、大気汚染、沿岸環境、土地利用、農林水産資源など、気候変動研究や社会経済活動に貢献することが期待されている。

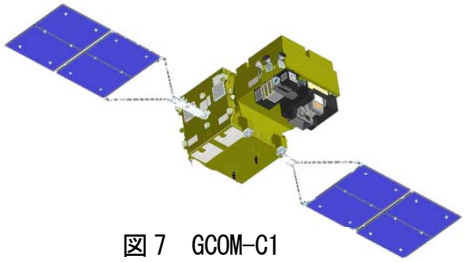


図 7 GCOM-C1

5. まとめ

地球温暖化に伴う地球規模の気候変動をよりよく理解するためには、地球観測衛星による観測は必須であり、とりわけ継続的な観測が重要である。JAXA では、このような社会的な課題解決への貢献を目指して、今後も、必要な地球観測衛星の開発・運用を継続的に進めていく所存である。

参考文献

1) 福田徹, 2011：日本の地球観測衛星計画 30 年. 日本リモートセンシング学会誌, 31, 159-167

地球観測衛星データの食料安全保障分野への利用

◦大吉 慶（宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター）

1. はじめに

農業分野では、食料需要を満たす（食料安全保障）と同時に、温室効果ガスの排出や水質汚染などの環境負荷を軽減すること（持続可能な農業）が今世紀の世界的課題となっている[1)]。食料安全保障分野において、地球観測は、作物の作付面積や生育状況の現状把握・早期警戒・予測など食料生産に関わる情報を提供することで、食料安全保障施策に貢献することが期待されている。2011 年の G20 農業大臣会合では、近年の食料価格の乱高下に対応するため、「食料価格乱高下および農業に関する行動計画」が採択され[2)]、リモートセンシングの活用についても述べられている。これを受けて Group on Earth Observations（GEO） Global Agricultural Monitoring（GLAM）が立ち上げられ、リモートセンシングによる客観的かつタイムリーな主要穀物（小麦、トウモロコシ、大豆、米）の作況情報や収量を FAO に提供する枠組みを構築している。特にアジアにおいて米は、世界の約 90%が生産・消費されており、最も重要な穀物である。宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA）は、アジアの宇宙機関や農業機関と連携し、GEOGLAM の中で Asia-Rice Crop Estimation and Monitoring（Asia-RiCE)を主導している（http://www.asia-rice.org）。JAXA は、地球観測衛星の開発および運用や観測データの校正・検証に加えて、食料安全保障分野におけるデータの利用研究も進めている。本稿ではこれらの成果の概要を紹介する。

2. 食料安全保障分野における地球観測データ利用の枠組み

食料安全保障分野で必要とされる情報としては、作付面積・収量、生育状況、耕作適地、農業被害面積、収穫適期の把握などが想定される。JAXA は、これらの中でも特に農業施策における基盤情報として必要となる、農業統計データ（作付面積、収量）の効率的把握手法や、作況を把握するための早期警戒情報の作成手法について重点的に取り組んできた。図 1 は、農業統計データや早期警戒情報を作成するための作物監視システムの概念を示している。4 つのサブシステム（耕作地図作成システム、農業気象および生育監視システム、単収・収量推定システム、情報提供システム）から構成されており、個々のサブシステムの構築および全体の統合を試みているところである。また、解析システム構築をする上では、光学センサ、合成開口レーダ、マイクロ波放射計など、観測目的に適合したセンサを選択、または複合的に利用することが肝要である。昨年度打ち上げた GCOM-W1 や、打上げが計画されている ALOS-2、GPM DPR、GCOM-C1 等についても今後食料安全保障分野での利用が期待される。

3. 農業統計データの効率的収集への利用

JAXA はタイ国地理情報宇宙技術開発機関（Geo-informatics and Space Technology Development Agency、GISTDA）および国内外の研究機関と共同で 2011 年から 2 年間、タイ国の水田地帯を対象とし、合成開口レーダを利用した水稲の作付面積把握と、作物生育シミュレーションモデルおよび現地調査に基づいた、米収量推定手法の開発を実施した。合成開口レーダは全天候型のセンサであり、雲の多い東南アジア域の耕作地の監視に適している。本共同研究では PALSAR などの合成開口レーダ画像から水稲面積を推定するソフトウェアを開発し[3)]、その成果は現在実施しているベトナムやインドネシアなどとの共同研究にも利用する計画である。

4. 農業気象観測による早期警戒への利用

農業気象情報は、単位面積当たりの収量（単収）を推定するためのパラメータとして利用されている。衛星観測による全球かつ高頻度での日射量、降水量、土壌水分量などの農業気象データは、世界各地の作物の生育状況を把握するために有用である。JAXA は東京大学生産技術研究所と共同で、全球衛星降雨量マップ

（GSMaP、Global Satellite Mapping of Precipitation：全球衛星降雨量マップ）と運輸多目的衛星（MTSAT、Multi-functional Transportation Satellite）を利用した干ばつ監視システムを開発した[4]。本成果は、アジア開発銀行が実施しているメコンデルタ地域やインドネシアにおける干ばつ監視プロジェクトに活用されている。国内においては、海外の作物の作況に関する情報収集を担当している農林水産省大臣官房食料安全保障課に AMSR-E などのマイクロ波放射計データから推定した土壌水分量データなどを定常的に提供している。本データは毎月公開される農林水産省の海外食料需給レポートを作成するための参考情報の１つとして活用されている。その他にも、農業気象データとして利用可能なプロダクトをウェブサイトにて公開している。詳しくは JAXA 農業利用ポータルサイトをご覧頂きたい（http://www.eorc.jaxa.jp/paddy/index.php）。

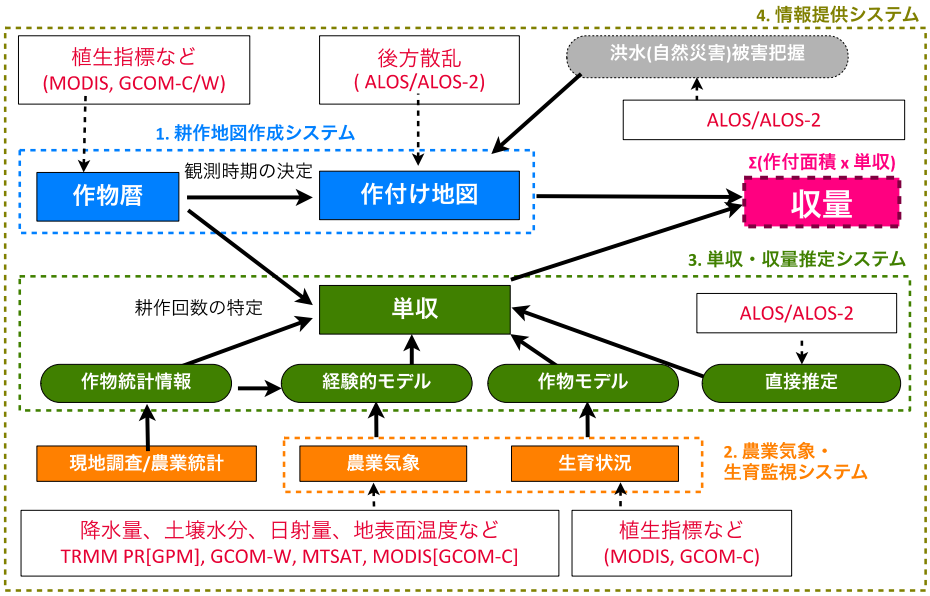


図１　地球観測衛星データを活用した作物監視システムの概念図

5.　まとめ

JAXA はこれまでに国内外の研究機関等およびエンドユーザーと共同で地球観測データを活用した作物監視システムを構築してきた。開発されたプロダクト、ソフトウェア、システムのいくつかは、すでに定常利用が進んでおり、外部資金による技術移転も行われている。また、本稿で示した通り、農業利用ニーズを満たす作物監視システム構築のためには、用途に応じて複数センサを統合的に利用することが重要である。さらに、JAXA は宇宙開発機関であるため、作物監視システムにおいて、不足している物理量を観測するための新しい地球観測ミッションを検討することも重要な役割であり、エンドユーザーも含めて検討を進めているところである。

引用文献

1) Foley, J. *et al.* 2011, Solutions for a cultivated planet, *Nature,* Vol. 478, pp. 337-342.

2) Meeting of G20 Agriculture Ministers, 2011, Action plan on food price volatility and agriculture, Paris, France (http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2011-06-23_-_Action_Plan_-_VFinale.pdf).

3) Oyoshi, K. *et al.* 2013, Development and Demonstration of Rice Crop Monitoring System, International Symposium on Remote Sensing 2013 , Makuhari, Japan, 15-17 May 2013.

4) 竹内渉，城内宏海、印刷中，アジアの水田での農事暦作成と干ばつ監視システム．*農業リモートセンシングハンドブック*，システム農学会.

国内農業分野におけるリモートセンシング技術の活用

石塚　直樹（(独）農業環境技術研究所）

1. はじめに

今回、このような題目をつけたものの、日本国内の農業分野でリモートセンシング技術が活用されているか？と問われれば、答えに窮するのが現状である。1972 年に Landsat が打ち上げられて以来、面的に広がる農地を観測できる衛星リモートセンシングは、農業分野で活用されることが期待された。しかしながら、現実は、「活用」というところまで到達した技術は非常に少ない。その理由は様々であるため、ここでは割愛するが、その一方で、近年、あと一歩という技術が増えている。今回、あと一歩を含めた国内農業分野におけるリモートセンシング技術の活用事例について紹介する。

2　農業行政分野で役立つリモートセンシング

まず我田引水で申し訳ないが、農業行政分野でのリモートセンシング技術の活用に向けた取り組みから紹介したい。前述の農業リモートセンシングが実用技術になりづらい理由の一つに、観測の不確実さがある。どんなに良い結果が得られる手法であっても、必要な時期に必要な結果が出せない、確実には結果が出ないでは、なかなか実利用までは到達できない。特に農作物は数ヶ月という短い時間の間に、耕起、播種（移植)、生長、収穫と地表面が大きく変化する。それに対し、衛星は数日から数十日に 1 回しか観測できず、生育期間中に観測できる回数は限られたものとなる。さらに、太陽光の反射を観測する光学センサでは、観測時に覆雲していた場合地表面は見えず、さらに観測機会が減ることとなる。生育期間中でも、必要な情報を得ることが可能な期間、「観測適期」は限られていることが多い。観測適期に天気が良ければ結果が出せますが、すべては天気次第です、では事業として成り立ちづらく、実利用に繋がらないのである。

農林水産省大臣官房統計部は、衛星画像で水稲作付面積を把握できないかという検討を古くから行ってきている。統計値に使うことを考えると、それこそ、天気が悪かったので今年の統計値は出せませんでは許されない。そこで、光より波長の長いマイクロ波を用いることで、雲の影響を受けずに地表面を観測することのできる合成開口レーダ（SAR）を用いた観測技術の研究が行われている。SAR は、特に水面で特徴的な反射が起こるため、湛水して栽培を行う水稲のモニタリングに適している。

SAR を用いた水稲作付面積把握手法の開発は、90 年代後半から始まり、近年の GIS データの整備に伴い、実利用の目途がついてきたことから、平成 21～22 年にかけ「水稲作付面積調査における衛星画像活用事業」が統計部によって行われた。ここでは、各種 SAR 衛星画像を用いて、農地の 1 筆 1 筆について水稲作付けの有無を判定し、マップ化と集計を毎年確実にできる手法が開発された。

残念ながら、費用対効果の面などから現時点での採用は見送られたが、将来的な活用可能性はあると考えられている。また、開発された「水稲作付地判別・面積求積システム」は、その後の東日本大震災における津波被災地の水田復旧モニタリング「被災地域の農作物等復興状況の把握業務」において活用されている。また、東京電力福島第一原子力発電

所事故による農地の放射性物質汚染の評価に際し、2011 年度の水田の湛水状況をこのシステムを活用して把握し、その結果が農林水産省が発表した「農地土壌の放射性物質濃度分布図」作成時の計算に用いられている。

また、農林水産省大臣官房統計部は JAXA と共同研究契約を結んでおり、水稲はもとより、水稲以外の作物に対しても SAR で行政に役立つ情報を抽出するための研究を行っている。今年度も、ALOS-2 活用の事前検討を行うため、航空機搭載型 SAR による観測や現地調査に共同で取り組むなど、将来の活用について検討を進めている。

3. 生産者に役立つリモートセンシング

農業が「業」である以上、生産者は農作物を生産し、いかに大きな儲けを得るかが最大の問題である。儲けを大きくするには、量を増やす、付加価値を付ける、コストを下げるといった対応が考えられる。

まず、量を増やす、つまり増収のためにリモートセンシング技術が積極的に活用された事例は少ない。むしろ、減収を防ぐためという活用が多い。農研機構水稲冷害研究チームでは、アメダス等の地上データと、気象衛星 NOAA やひまわりの画像を用いて水稲の冷害のリスクを把握し、早期警戒情報を発信するシステムを運用していた。

付加価値をつけるという方向では、米の食味が上げられる。衛星画像から求められた NDVI が米粒のタンパク含有量と負の相関があることを利用し、施肥管理や選択集荷などに活用するものである。似たような取り組みが、北海道、青森、山形、石川、新潟、佐賀（茶）など日本各地で行われている。しかしながら、これらの取り組みも衛星画像や解析のコストがネックとなり、現状では生産者の手取りを大きく押し上げるものではない。

コスト削減の事例としては、農業分野における唯一といっていい成功事例、JA めむろの「小麦適期収穫支援システム」がある。これは気象ロボットによるメッシュ気象データと衛星画像を組み合わせることで、小麦の収穫適期を圃場毎に把握するもので、これにより小麦の品質低下を防ぐとともに、収穫時のコンバインや小麦の乾燥に必要な燃料費を削減するというものである。導入前と比べて燃料費が 2 割削減できたとされており、原油価格の高騰の折、大きなコスト削減の成果を上げている。

4. まとめ

あと一歩も含め、国内農業分野におけるリモートセンシング技術の活用事例について紹介した。特に、生産者に役立つリモートセンシング技術における特徴の一つは、衛星リモートセンシング技術だけで成功している事例は少なく、多くは気象データと組み合わせることで成功を収めているということである。確かに衛星は面的に地表面を観測できる利点がある一方、回帰軌道衛星は観測頻度の問題がどうしてもつきまとう。それに対して、点データであるが、時間分解能の非常に高い観測ができる気象データは、お互いを補い合える良いパートナーといえる。さらに将来的には、静止軌道上の高頻度観測衛星の空間分解能の向上が検討される一方、気象観測でもロボットや IT を利用した気象メッシュの高精細化の進展など、お互いのスケールの違いが小さくなる技術の開発が進んでいる。今後、農業気象分野と衛星リモートセンシング分野が、より密に協力・連携することにより、社会に役立つより良い研究成果が生まれていくことと確信している。

メッシュ農業気象データと空間情報としての利用

◦大野宏之（(独)農研機構中央農業総合研究センター）

1. はじめに

気温や湿度、日照時間などの気象条件は、作物の生育の良否や病虫害発生の変動などに深く関わっているので、圃場における気象条件を過去から将来について利用できれば、作物のより適切な管理につなげることができる。そこで、中央農研情報利用領域では、気象庁のアメダスや数値予報などを組み合わせて、農業に有用な気象要素を全国について 3 次メッシュで作成し更新するシステムを開発した。このデータを用いて、水稲栽培支援のホームページの開発が進められている。また、このデータではないが、気象のグリッドデータと作物モデル、衛星データを深く連携させて農業関係の空間情報の精度を高める取り組みも進められているので、これらについて紹介する。

2. メッシュ農業気象データ

メッシュ農業気象データシステムは、1 年を、当該日の 2 日前以前、当該日の 1 日前～6 日後、当該日の 7 日の、3 つの期間に区分し、それぞれについて異なる方法でメッシュ化データを作成する。まず、2 日前以前については、気象庁アメダスをメッシュ展開(空間補間)して作成する。この際、気象要素によってはメッシュ化された日別平年値を使用する。次に、1 日前から 6 日先については、気象庁数値予報モデル GPV(GSM 日本域)をメッシュ単位にバイアス補正して作成する。この際、気象要素によっては 2 日前以前のメッシュデータおよび気象庁数値モデル GPV(MSM)を使用する。そして、7 日先以降のデータは、メッシュ展開した日別平年値を用いる。

2 日前以前のメッシュデータに対してクロスバリデーションを実施した結果、日平均気温に対する誤差は、約 0.5℃であった。1 日前から 6 日先のデータに対して、日平均気温予報値と観測値を比較した結果、当日予測の誤差は約 1℃で 6 日先予測の誤差は約 2℃であった。全般に、気温については、寒候期や寒冷地で誤差が大きくなる傾向が示された。

メッシュ農業気象データは、現在、1980 年以降の日最高/平均/最低気温、全天日射量、日照時間、日降水量、および、2008 年以降の日平均湿度と下向き長波放射量、風速が作成されている。気象データのほか、メッシュの面積、標高、土地利用等の基礎的な地理情報も気象データと容易に演算できる形式で用意されている。メッシュ農業気象データは、全て新測地系(JGD2000)に準拠する。

メッシュ農業気象データを利用者に配信するために、インターネット上にデータ配信サーバーを構築した。HTTP の Get メソッドにより、利用者は、任意の時空間サブセットを CSV 等のファイルでこのサーバーから取得できるほか、Microsoft Excel の web クエリ機能を利用することができる。また、OPeNDAP と呼ばれる通信プロトコルにより、プログラミング言語の変数に、ファイルを経由することなくデータを代入することができる。

メッシュ農業気象データシステムでは、利用者サポートのために、Wiki を運営しており、各種解説やサンプルプログラムの提供等を行っている。併行して、メーリングリストも運営し、ここでは、システムの運用状況の通知や技術的な相談を行っている。図 1 にメッシ

ュ農業気象データシステムの概念図を示す。

3. 空間情報としての利用

メッシュ農業気象データシステムの運用により、湿度等これまで利用できなかった気象要素や予測値が面的に利用可能となったことを受け、農研機構では、これまで蓄積されてきた水稲の栽培管理技術をこのデータのもとに再検討してコンテンツ化するとともに、東北農研が開発した「Google マップによる気象予測データを用いた水稲栽培管理警戒情報システム」を拡充し、全国で利用可能な栽培支援システムを構築する計画を進めている。

また、中央農研情報利用領域では、JAXA と農業関連プロダクトの精度向上に向けた予備的な研究協力も進められている。この研究協力は、衛星情報、気象情報、作物モデルをこれまでになく密接に結合させてより高い精度の情報を創出しようとするもので、中央農研側が提供する作物モデルの組み込みによる JAXA の農業関連プロダクトの精度向上の可能性の検討、JAXA が作成する農業関連プロダクトを作物モデルに使用した場合の成績評価、ならびに、地球観測衛星情報の利用によるメッシュ農業気象データ等中央農研のグリッドデータの高解像度化手法の検討である。

この研究協力ではこれらの研究を進めるために、サービス指向アーキテクチャ(SOA)を採用している点も特筆できる。SOA とは、業務上の一処理に相当するソフトウェアの機能をサービスと見立て、そのサービスをネットワーク上で連携させてシステムの全体を構築していく方法のことである。これを採用すると、複数の研究者が関わる複雑なデータ処理システムをそれぞれの計算機資源上に構築して連動させることができるので、単一の計算機上にシステム全部を組み込む従来の方式にくらべ研究の効率化が期待できる。現在は、作物モデル、ならびに、グリッドデータの提供をサービス API 化するとともに、各自のサービス API に加えて、共通 API の作成・提供にも取り組んでいる。

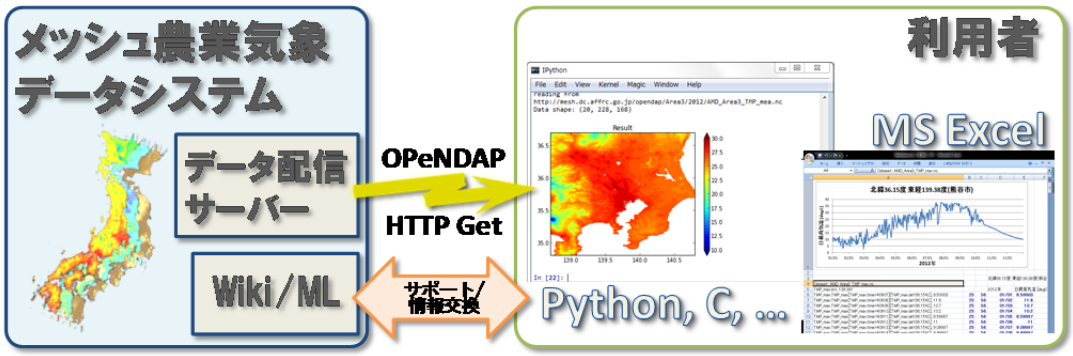


図1. メッシュ農業気象データシステムの概念図

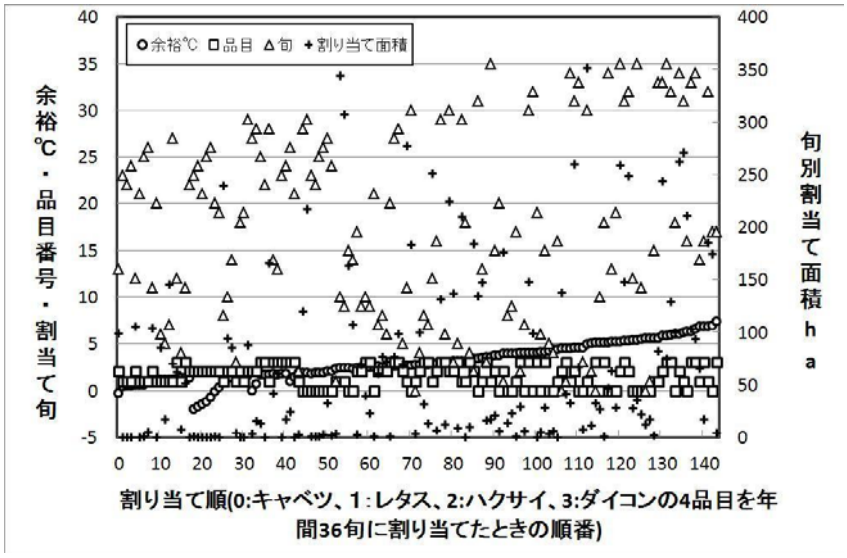
主要露地野菜の３次メッシュ・旬別作付け実況の推定法の開発と課題

◦大原源二、岡田邦彦*、中川博視(農研機構中央農研、*同野茶研)

1. はじめに　野菜の作付け実況(いつ、どこで、どの生育段階のものがどれだけ)の推定が可能になれば、大きな技術革新をもたらすが、具体的には検討されていないか、漠然と不可能と思われている。こうした現状でどこまで可能か検討したので、その結果と課題を報告する。

2. 方法　推定対象は、生産・入荷統計情報が整備されている重要露地野菜とする。予め、野菜作型別生育ステージ一覧や野菜の種類別作型一覧に多数掲載される主産地の栽培事例(産地市町村名、作型、品目・品種等)と３次メッシュ気象値から品目毎に収穫期予測モデルを作成する。そして、栽培事例毎に生育前中後期に分けて、各期で遭遇する気象環境の領域を調べ、この領域を栽培好適領域とする。3 次メッシュ土地利用(年間野菜栽培面積)、センサス集計結果(品目別年間栽培面積)、市町村別・県別季節別生産統計という生産にかかわる情報と青果物市況情報(県別日別の中央卸売市場入荷量)という入荷にかかわる情報が整備されているが、3 次メッシュ・旬別の作付け実況という膨大な未知数を一意に定めるには制約条件として甚だしく不足する。そこで、任意の３次メッシュ・旬で栽培した場合に生育段階毎に遭遇する気象環境を収穫期予測モデルで調べ、栽培好適領域に対する余裕を算定する。そして、産地間競争が激しい現在の産地の作付けは、気候的に最適化されていると仮定して、入荷情報から県別旬別収穫面積を定め、上記制約条件を充足し、なおかつ余裕が最少となる品目・旬の収穫面積を余裕が大きい側の３次メッシュの野菜栽培面積から順次割り当てることを、必要な品目・旬数だけ繰り返すことで、作付け実況を推定する。

3. 結果および考察　未知数に比べて制約条件が圧倒的に不足するが、栽培事例に基づく収穫期予測モデルと栽培好適領域の決定ならびに好適領域に対する余裕を定義し、土地利用と各種生産統計、市場入荷統計を制約条件として、余裕を指標とする作付けの気候的最適化を仮定し、メッシュ気象値を用いることで、3 次メッシュ・旬別作付け実況(いつ、どこで、どれだけ)の解を一意に定めることが可能になった。推定結果の一例として、茨城県でキャベツ、レタス、ハクサイ、ダイコンの４品目の収穫面積を割り当てた結果を図１に示す。余裕が小さいものから順次割り当てたので、割り当て順が遅いほど余裕は徐々に大きくなったが、制約条件が季節や地域で不連続なため余裕が不連続的に変化する場合が存在した。割り当て順が遅いものでは、余裕が 5℃以上とかなり大きくなるために、品目や旬によっては気候的最適化の仮定が不合理と思われる状況も出現した。このように栽培好適領域からの余裕が大きな領域の立地配置は今後検討すべき課題である。



長野県塩尻市における裸地状態の農地から発生したダストについて

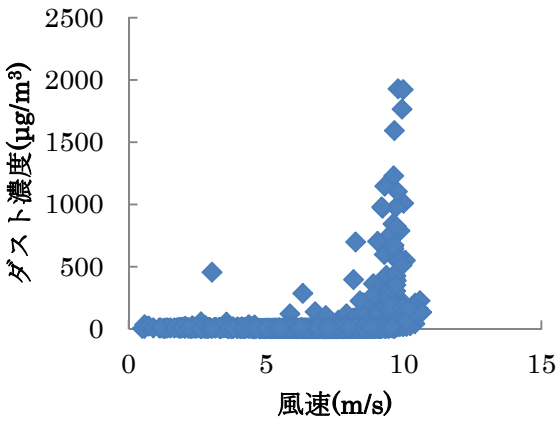
◦天野晃太（千葉大院園芸），松岡延浩（千葉大院園芸），間野正美（千葉大院園芸），矢野翔平（筑波大院），鈴木純（信大農）

研究の背景および目的　ダストとは地表面から大気中に浮遊した粒径 20 μm 以下の粒子である。長野県塩尻市では，1 月～5 月の裸地状態の農地から発生するダストによって，視程の悪化による交通障害や健康被害が発生している。風速が大きいときにダストが発生しやすいことは以前から知られているが，不確定な要素も多い。本研究では，ダスト濃度と風速の関係を，地表面の状態を加えて考察した。

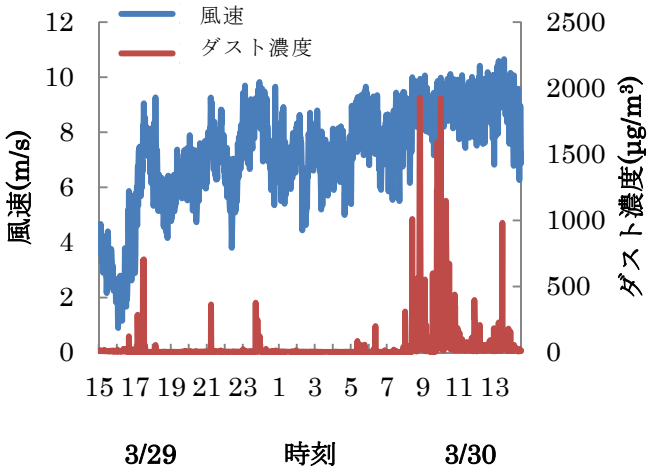
方法　長野県塩尻市岩垂原の休閑地で，2012 年 1 月 6 日から 3 月 30 日まで観測を行った。ダスト濃度を粉塵計（Model 3442，Kanomax，設置高 1.5 m，測定粒径 10 μm 以下），風速を超音波風速計（USA-1，METEK，設置高 3 m），降水量を雨量計（Rain Collector II，DAVIS），深さ 0～6 cm の土壌水分量を土壌水分計(Theta Probe，Delta-T)，地表面の状態を定点観測用カメラ(GardenWatchCam，Brinno)で測定・撮影した。ダスト濃度と風速は 1 分ごとの平均値，降水量は 60 分の積算値，土壌水分量は 60 分ごとの瞬時値，地表面の状態は 2 時間ごとの定点観測用カメラ撮影画像を用いた。

結果および考察　高濃度のダストが発生した 3 月 29 日から 30 日を例に説明する。両日のダスト濃度と風速の関係を第 1 図に示す。風速が 6～7 m/s を超えるとダスト濃度が高まり始め，さらに 9 m/s を超えると急激に高濃度になったことがわかる。しかし，10 m/s を超えてもダスト濃度が高まらない場合も多く見られた。

第 2 図に対象期間のダスト濃度と風速の経時変化を示す。3 月 29 日 17 時頃，21 時頃，23 時頃，30 日 9 時頃のように 1 時間当たり 1 m/s 程度以上の速さで風速が加速したときに，ダスト濃度が高まった。この間の定点観測用カメラ撮影画像をみると，ダスト濃度が高まる前には地表面に粒径の小さい土粒子が数多く見られるが，それを過ぎて濃度が下がると地表面にあった粒径の小さい土粒子がなくなっていた。他の日をみると，風速 9 m/s 以上でもダストが発生しない日もあり，その様なときは定点観測用カメラ撮影画像をみても，粒径の小さい土粒子は見られなかった。以上のことから，風速が支配する，粒径の小さい土粒子が風によって舞い上がりダストになるプロセスだけではなく，同時にそのような土粒子が地表面で生成および蓄積されていくプロセスが進行し，それらのバランスによってダストが発生するかどうかが決定されると考えられ，今後，後者のプロセスも明らかにする必要がある。



第 1 図　2013 年 3 月 29 日から 30 日のダスト濃度と風速の関係



第 2 図　2013 年 3 月 29 日から 30 日のダスト濃度と風速の経時変化

ハウス育苗時の群落内光環境がトマト苗の生育に及ぼす影響

○南谷健司・石神靖弘・彦坂晶子・後藤英司（千葉大院園芸学研究科）

はじめに　近年、トマトの長段栽培に比べて短い期間（70～120 日間）で 1～4 段果房のみの果実を収穫し、それを繰り返すことで、周年的に生産できる低段栽培が注目されている。低段栽培で安定生産と多収を達成するための苗生産には、1）徒長を抑制しながら第 1 花開花まで生育ステージを進ませること、2）低コストで効率的な技術であること、3）周年的に安定していること、などが要求される。

本研究では、高密植な群落内外の気流、ガス濃度、温湿度および光環境の局所環境制御を行い、上記の 1）から 3）を達成するための生育制御技術を確立する。まず、ハウス育苗時の群落内光環境を解析し、人工気象室でその光環境を再現した後、遠赤色光の有無がトマト苗の生育に及ぼす影響を調査した。

材料および方法　供試植物はトマト‘麗容’とし、播種後 35 日までハウスで育苗した。群落上と群落内の光合成有効光量子束（PPF）は GaAsP フォトダイオード（G1118、浜松フォトニクス（株））で多点連続測定した。さらに、波長組成は、分光放射計（USR-45DA、ウシオ電機（株））を用いて、育苗終了時に高さ 10 cm 間隔で群落上から群落内の 6 点を測定した。群落内光環境の再現実験は、人工気象室内で、播種 8 日目から 12 日まで光質以外は共通の環境条件（第 1 表）で実施した。試験区は遠赤色光照射区と遠赤色光無照射区の 2 区とした。光源は 6 波長帯光混合照射 LED 光源（46 cm×70 cm, Fujiwara et al.（2011）の後継機）とし、第 2 表の光環境に設定した。

第1表　各試験区に共通の環境条件.

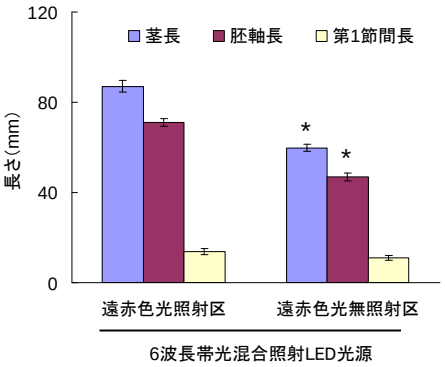
明期	16 h d^{-1}
気温（明期/暗期）	26/19°C
CO_2 濃度	1000 μmol mol^{-1}
相対湿度	70%

結果および考察　ハウス育苗時のトマト群落は日が経つにつれて相互遮蔽が多くなり、相対光強度（群落内 PPF/群落上 PPF）は 0.17 まで低下し、群落上の R/FR 比は 1.0 以上だったのに対し、群落内部は 0.5 以下となった（データ略）。遠赤色光は赤色光より葉の透過率が高いため、群落内部の R/FR 比が低下したと考えられた。高密植のハウス育苗では、トマト苗が著しく徒長した（データ略）。人工気象室での再実験の結果では、茎長、胚軸長および節間長は、遠赤色光を照射した試験区で大となった（第 1 図）。よって、ハウス育苗で徒長を抑制するためには、遠赤色光をカットする、あるいは赤色光を群落内に補光して R/FR 比を高める必要があると考えられた。

第2表　群落内光環境とLED光源の波長組成.

	ハウス育苗時の群落内光環境	6波長帯光混合照射LED光源	
		遠赤色光照射区	遠赤色光無照射区
Wavelength range (nm)	Photon flux (μmol m^{-2} s^{-1})		
400-700 (PPF)	150.0	150.0	150.0
300-400 (UV)	9.4	6.2	3.0
400-500 (B)	35.1	36.6	35.9
500-600 (G)	59.8	59.9	62.0
600-700 (R)	55.1	53.5	52.1
700-800 (FR)	134.4	149.1	1.2
R/FR	0.41	0.36	42.17
P_{fr}/P*	0.60	0.54	0.86

* P_{fr}（遠赤色光吸収型フィトクロム量）/P(全フィトクロム量)は，分光分布とフィトクロム吸収スペクトルを基にSager et al.（1988）の式から算出した.



第1図 遠赤色光の有無がトマト苗の茎伸長に及ぼす影響. *はt検定において5%水準で有意差があることを示す（n = 6）.

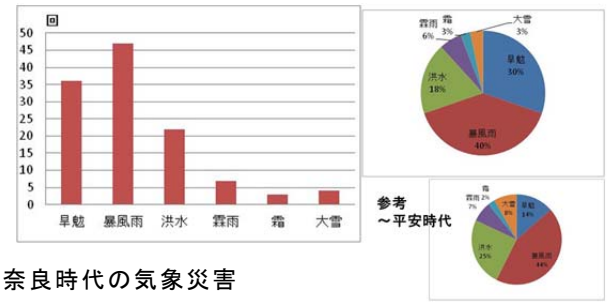
古代奈良の旱魃気候と水田灌漑としての溜池について

○福岡義隆（立正大・広島大名誉教授）・丸本美紀（お茶の水女子大院）

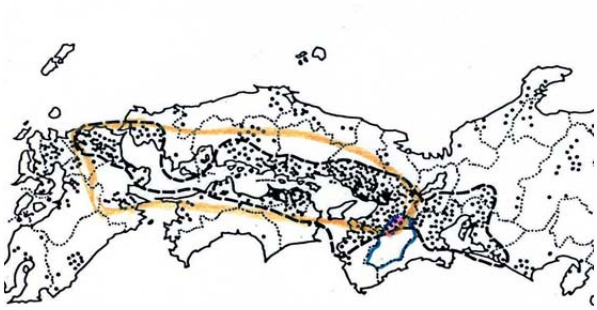
1. はじめに

奈良は，周囲を山地に囲まれた南北 30km，東西 16km の比較的平らな盆地である．衛星画像で見える黒くやや四角いのが溜池である．奈良盆地は大きくは瀬戸内気候区の東端に位置しやや内陸性の気候で雨が少なく，水田水を確保するために昔から溜池が築造されてきた．古くは「古事記」や「日本書紀」にも記載がある．古代だけでなく中世にいたっても水不足で，水田の灌漑用水必要量は河川の用水供給量を超えていたという．本研究では，歴史資料から古代奈良に旱魃害が多かった事実をまとめ，これを克服するための溜池灌漑とか雨乞いに関する地名伝承，および今日の気象資料に基づく気候学的水収支による考察を試みた．

2. 文献から見た奈良時代の旱魃と溜池の関係



奈良時代の気象災害
（奈良県全体では南部の多雨地帯で暴風雨件数が多いが，奈良盆地に限ると旱魃の方が多い）



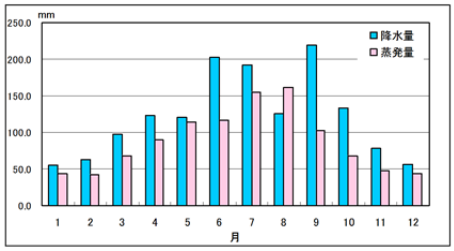
瀬戸内気候における溜池文化圏（原図：飯野）

雨乞いの記録と地名

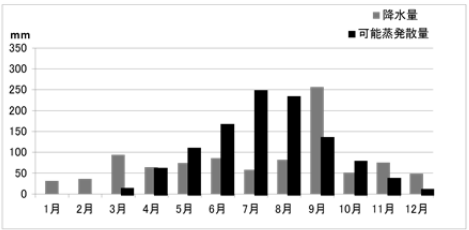
水不足であったことを証拠づける「雨乞い」祈願の記事が大化元年（645 年）から延歴 10 年（791 年）の 147 年間に 70 例もあると記録にある（「日本書紀」・「続日本紀」）．地名などが飛鳥川流域を始め奈良県下に多いのが注目される．耕地が増えるとともに造られた「井手」（上居領，細川筋の「ミノダ井手」「ナカイ井手」「ササカ井手」「木の葉井手」などの井堰）とか，雨乞い祈願のために，水を掌る竜を守る「竜福寺」「竜蓋寺」「竜神」などのほかに「竜蓋池」などがその例である．導水のための土樋や木樋からなる「保」なども新田開発時に造られたもので，「保田」「保津」のような地名も飛鳥川岸にある．武光誠(2004)によると，田のつく地名は稲作地に多く，収穫の多い様をさす「多」の意味もあるという．

雨乞いの地名の例について

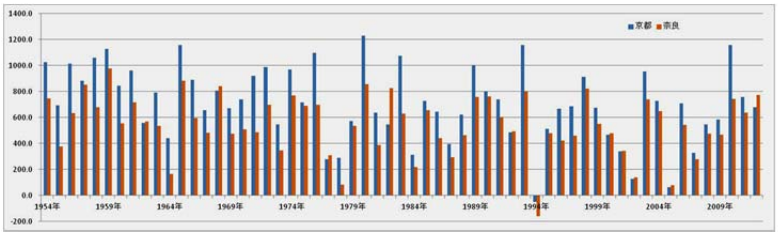
①黒髪山～奈良市旧市街地北の佐保丘陵の黒髪山は竜王信仰，雨を司る神
②春日山の高山にある鳴雷神社～「水の神」として，雨乞いのために参拝
③御所市蛇穴（さらぎ）の野口神社～蛇穴は竜穴に通じ，「水の神」を祀ってある
④明日香村大字坂田小字戒成（かいなり）は「鳴海」「鳴水」に通じ，水分（みくまり）聖地で雨乞祈念
⑤明日香村石舞台古墳の東方に竜在峠，竜蓋寺などの竜神（水神）信仰の峰々がある
文献；池田末則著『地名の考古学―奈良地名伝承論』（勉誠出版 2012）



明治大正ころの奈良県の気候学的水収支（降水量－蒸発量）



旱魃年における気候学的水収支（奈良）



奈良（橙色）と京都（青色）における年々の気候学的水収支
（年降水量－年可能蒸発散量）

文献：池田末則著『地名の考古学，奈良地名伝承論』（勉誠出版 2012），田家康著『気候で読み解く日本の歴史』（日本経済新聞出版社 2013），丸本美紀著『奈良盆地における旱魃気候の地域特性』（お茶の水大学大学院修論 2012）．

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

◦真木太一（九州大学名誉教授）・守田治（福岡大学環境未来オフィス）・鈴木義則（九州大学名誉教授）・脇水健次(九州大学農学研究院)・西山浩司（九州大学工学研究院）

１．はじめに

今世紀は水の時代といわれ、世界的に淡水が逼迫する状況がある中では、乾燥地および干ばつ時の水問題解決は喫緊の課題である。このため新しい人工降雨や人工増雨が要望され、農業や沙漠緑化への利用が期待されている。本報告では 2013 年 3 月 14、15 日にビーチクラフト式キングエア 200T 型航空機で液体炭酸を三宅島付近で散布量（約 5g/s）数分間、数回散布して、人工降雨を起こした結果を報告する。

なお、液体炭酸法は、液化炭酸（液体炭酸）を航空機から雲底付近に散布し形成された氷晶に雲中の過冷却水滴や水蒸気を取り込み、雲自体の拡張を図り雪片に成長させて地上に雪・雨を降らせる方法である。本手法では雲を幅広く成長させるので広範囲に降水が期待でき、多方面での水利用が可能となる。

２．実験・観測結果

三宅島北方と御蔵島の北東方で、航空機から液体炭酸を約 10 分間ずつ散布した結果、降雨が確認できた。

液体炭酸散布時間帯の気象状況および雲の状態は次の通りであった。

⑴第 1 シリーズ：三宅島の北方約 10km で東西（西南西→東北東）に 2 回散布、南北(南→北）に 1 回散布、散布高度：3500f（1070m）

散布時間：13:29～13:46（東西；3、3、南北；4 分)、気温：-2～-1℃、風向：北東、風速：15.4m/s

雲頂：1940m、+0.6℃、西南西、9.1m/s、雲底：580m、+2.3℃、東、17.0m/s、雲の厚さ：1360m

⑵第 2 シリーズ：御蔵島の北方約 10km で東西（北西→南東）に 2 回散布、南北(南→北）に 1 回散布、散布高度：3500f（1070m）

散布時間：14:03～14:22 （東西； 3、3、南北； 4 分)、気温：-2～-1℃、風向：北東、風速：15.4m/s

雲頂：2060m、-1.0℃、西、7.7m/s、雲底：670m、+5.0℃、東北東、20.6m/s、雲の厚さ：1390m

３．まとめ

⑴雲の厚さは 1400m で薄かった。気温は-2～-1℃で比較的高かった。

⑵高度 2000m 付近の気温逆転層は顕著であった。逆転層までの雲（600～2000m）が降水となったと推測された。

⑶雲底付近の風向は東寄り、風速は 17～21m/s と強かった。

⑷風向・風速に大きいシアがあった（上下層で風向、風速が大きく異なった)。

⑸高層は偏西風で西風であり、散布高度（1070m）の風向は北東、風速は 15.0m/s であった。

⑹液体散布の約 1 時間後には、降雨により、線状に雲が消失（幅 1～2km)、2 時間後に円形状に雲が消失（直径約 50km）した。散布域での降雨発生によって雲に穴あきの状況が確認できた。

⑺液体炭酸散布率：約 5g/s（20 分間の総散布量：6.7kg)。雲が消えた幅：2000m、散布距離： 1 シリーズ当たり約 10 分、飛行距離：50km、降水量：6 万 t、時間雨量：1mm/h と推定された。直接（一次）的影響による降水量は 12 万 t と推定された。総降水量は平均的な水蒸気量からの推定で 80 万 t、二次的影響による降水量 1mm/h の場合の推定で 200 万 t、雲物理的推定で 270 万 t となり、平均 180 万 t と推定された。

⑻実験は上述の条件下でも見事に成功し、効率的な降水量が得られたと推測された。

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

○真木太一（九州大学名誉教授）・西山浩司（九州大学工学研究院）・守田治（福岡大学環境未来オフィス）・鈴木義則（九州大学名誉教授）・脇水健次(九州大学農学研究院)

１．はじめに

水の時代といわれている 21 世紀は、世界的に淡水が逼迫する状況がある中で、乾燥地および干ばつ時の水問題解決は喫緊の課題となっている。このため人工降雨や人工増雨のイノベーションが渇望され、農業や沙漠緑化への水利用が期待される。本手法では雲を幅広く成長させるので広範囲に降水が期待でき、多方面での水利用が可能となる。2013 年 5 月 28 日に航空機で液体炭酸の散布を名古屋南方の志摩半島の南の海上で実施した。散布量 5～6g/s で数分間、数回散布し、人工降雨を起こした結果を報告する。

２．実験・観測結果

実験日時：2013 年 5 月 28 日 12～15 時、実験場所：名古屋南方約 170km の海上域（志摩半島大王埼の南 50～80km 付近）、液体炭酸散布距離：約 60km（30km 往復）、航空機：ビーチクラフト式キングエア 200T 型双発機（ダイヤモンドエアーサービス）である。液体炭酸：10kg 液体炭酸 2 本用意、実験時の液体炭酸使用量：10 分間で約 4kg（散布量：約 6g/s）、液体炭酸散布時間：約 10 分間（13:05～13:25）、散布高度：15000f（約 4570m）、中層雲の中央域で散布した。

雲の層：3 層あり（上層雲：巻層雲(未確認)＋高層雲、中層雲：層雲、下層雲：乱層雲＋対流雲）

散布雲：中層雲：2 層目（層雲）：3800～5300m（雲厚：約 1500m）、雲の密度低い。

中層雲：雲底気温：+2℃、雲頂気温：約-6℃、散布雲の気温：約-2℃であった。

下層雲：対流雲 1800～1900m 付近（雲厚：120m）、その雲の上層（2000m 高度付近）に約 500m 間に約 2℃差（9～11℃）の気温逆転が顕著であった。雲頂(17500f)の風向：310 度（北西）、風速：29knot（14.9m/s）、散布雲(15000f：4570m、中央域)の風向：270 度（西）、風速：20knot（10.3m/s）、雲底(12000f)の風向：280 度（西～西北西）、風速 25knot（12.9m/s）（ただし平均の雲底は 12500f）である(雲の厚さ約 1500m)。散布時から 1 時間 10～20 分間、散布の東方上空で調査した。実験海域では気象庁のレーダー画像（2000m 以下および密度の低い雲は映らない）に映るような顕著に発達した雲はなかったが、可視画像には雲(下層雲)ははっきりと映っている。

雨脚は数カ所で確認している。航空機の窓にかなり激しい雨粒および雪粒の衝突が確認できた。特に帰路においては回数が多かった。しかし多くは自然の降雨であった。ただし、散布域の下流域にて、13:51 より雲内に進入した後、13:55 に雲底に達したが、その間の 13:51～13:58 あたり(散布後 40～50 分)の最初に確認した航空機への雨粒と雨脚は人工降雨による可能性が高かった。なお、14:00～14:20 以降（帰路時）の降雨は自然降雨と判断された。人工降雨と自然降雨との区別が難しい状況ではあったが、液体炭酸散布によって増雨した可能性があることが分かった。

なお、後日、気象庁データの解析から、散布後、約 2 時間後には散布雲の風下域で散布高度より高い上空領域では雲の上昇を表す上昇気流が計測され、また散布高度より低い下層領域では下降気流が計測されたことで、散布高度以上では雲の発達、散布高度以下の雲の下方では雨脚としての降雨があったと推測された。

３．まとめ

これまで主として冬季に人工降雨実験を行ってきたが、夏季に向けた晩春期に、航空機で高標高の雲（氷点下の雲）に液体炭酸を散布すれば、冬季と同様、人工降雨はおおむね起こることが確認された。