

日本農業気象学会関東支部

2014 年度例会

講演要旨集

第 11 号

2014 年 11 月 28 日（金）

独立行政法人 海洋研究開発機構 横浜研究所
三好記念講堂（神奈川県横浜市）

主催：日本農業気象学会関東支部

共催：日本農業気象学会リモートセンシング・GIS 研究部会

協賛：東京大学大学院農学生命科学研究科アグリコクーン
農学における情報利用研究 FG

目次

例会案内	1
一般講演スケジュール	2
シンポジウム講演要旨	
地球シミュレーター — その開発経緯と活用の現状 — 杉山徹（海洋研究開発機構）	3
地球シミュレータによる地球温暖化予測とその影響評価への活用 河宮未知生（海洋研究開発機構）	6
主要作物の世界規模での収量変動予測 飯泉仁之直（農業環境技術研究所）	8
陸域生態系モデリングと温暖化予測 羽島知洋（海洋研究開発機構）	10
一般講演要旨	
2013年12月15日の三宅島・御蔵島における液体炭酸散布による人工降雨実験 °真木太一（国際農林水産業研究センター、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）	12
水塚の農業気象災害に対する予防の知恵 福岡義隆（立正大学名誉教授、広島大大学名誉教授）	13
青色・赤色LED光の時間差照射がコスレタスの成育に及ぼす影響 °木村圭佑・地子智浩・松田怜・富士原和宏（東大院農）	14

例会案内

～日本農業気象学会関東支部 2014 年度例会～

開催日：2014 年 11 月 28 日（金）

会 場：独立行政法人 海洋研究開発機構（JAMSTEC）

横浜研究所 三好記念講堂

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173 番 25

TEL：045-778-3811（代表）

<http://www.jamstec.go.jp/j/>

スケジュール：

10:00～10:45 一般講演発表会

11:10～12:10 施設見学会

12:15～13:20 関東支部 評議員会

13:30～14:00 関東支部 総会

14:10～17:25 シンポジウム：地球シミュレータを用いた環境変動予測とその動向
—農業気象研究への応用—

14:10～14:55 杉山徹 氏（海洋研究開発機構）

「地球シミュレータ —その開発経緯と活用の現状—」

14:55～15:40 河宮未知生 氏（海洋研究開発機構）

「地球シミュレータによる地球温暖化予測とその影響評価への活用」

15:55～16:40 飯泉仁之直 氏（農業環境技術研究所）

「主要作物の世界規模での収量変動予測」

16:40～17:25 羽島知洋 氏（海洋研究開発機構）

「陸域生態系モデリングと温暖化予測」

18:00～ 懇親会（海洋研究開発機構 横浜研究所内 ゲストハウス）

発表時の使用機器について

会場にはプロジェクターと PowerPoint 2013 がインストールされた Windows PC（OS: Windows 7）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、地球情報館と地球シミュレータの見学会を開催いたします（参加申し込みは締め切りました）。

参加費用：

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くと無料となります。

シンポジウム・施設見学会

会員、非会員に関わらず無料

※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（海洋研究開発機構 横浜研究所への交通アクセス）をご参照下さい。

<http://www.jamstec.go.jp/j/about/access/yokohama.html>



最寄り駅・バス停からの所要時間

JR 根岸線「新杉田駅」より徒歩13分

京浜急行本線「杉田駅」より徒歩15分

横浜新都市交通金沢シーサイドライン「南部市場駅」より徒歩15分

京浜急行バス「杉田」バス停より徒歩5分

一般講演スケジュール

10:00-10:15 ○真木太一（国際農林水産業研究センター、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）

「2013年12月15日の三宅島・御蔵島における液体炭酸散布による人工降雨実験」

10:15-10:30 福岡義隆（立正大学名誉教授、広島大学名誉教授）

「水塚の農業気象災害に対する予防の知恵」

10:30-10:45 ○木村圭佑・地子智浩・松田怜・富士原和宏（東大院農）

「青色・赤色LED光の時間差照射がコスレタスの成育に及ぼす影響」

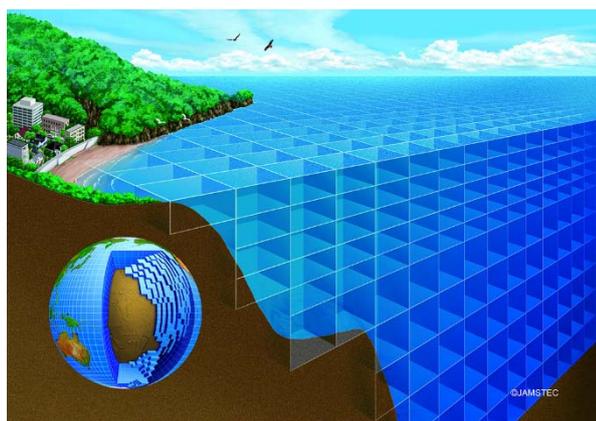
地球シミュレータ —その開発経緯と活用の現状—
杉山 徹（海洋研究開発機構・地球情報基盤センター）

2002年3月、運用が開始されたスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」。現在は2代目が運用され、来年からは3代目となり、さらなる高速化を実現させた計算機が運用される。そもそも、高速計算機はなぜ必要なのであろうか、シミュレーションとは何であろうか、から述べてみたい。

野球を例に考えてみる。投手の投げた球を打者が打つ。打者の打ち上げた飛球を野手が取る。このごく当たり前の光景が実現されているのは、どこにボールが動いて行くかを選手が分かっているからである。人間は目から得た情報を基にボールの軌跡を判断して、その後（未来）のボールの位置を予測しているのである。その予測が正しければ、上手な選手に近づく。では、これと同じ事をコンピュータに計算させることを考えてみる。

投げたボールが投手の手を離れた後や、打ったボールがバットを離れた後の運動は、運動方程式に従って動くので、ボールに加わる力が全て分かれば、軌跡を求めることが出来る。人間ならばこの微分方程式を初期条件を用いて紙上で解き、軌跡の式を求めることが出来るが、コンピュータは四則演算（と、その組み合わせ）しか出来ないので、微分方程式を解けない。そのため、初期位置から少しずつボールの位置を進めていく事（微小時間ずつボールの位置を進めていく事）で、最終的な軌跡を求めるという手段を用いる。つまり、速度と微小時間の積から移動距離が計算でき、その微小時間後の位置が分かる。同時に、重力などの力がボールに働いて速度が変わる。再度その位置から、微小時間後の位置を求めて、、、という作業を繰り返せば、微小時間が積み重なり長時間後のボールの位置が分かるという仕組みである。その微小時間間隔を短くすれば、より正確な位置が予測できることは想像できるであろう。ただし、計算量がその代償として増えてくることも明白である。

では、地球環境をシミュレーションで予測する場合はどうであろうか。シミュレーションで得られる結果は、世界中のすべての場所々々で得られるわけではなく、縦・横・高さ方向に区切った箱に分けて、その箱での代表値が得られる。その代表値が将来、どうなるかを物理法則に従って計算していく。この箱を、地球全体に分布させるのである。それこそ、上空から海底まで。隣の箱同士の物質やエネルギーなどのやり取りを刻一刻、計算していくのである。例えば、隣の箱から熱い空気が自分の箱の方に流れているという情報から、ある（微小）時間後には自分の箱の気温が上がる事が予測できる。厚い雲ができ日光が遮られると、地面温度が上がりにくくなる



海洋研究開発機構・木下真一郎氏作成

ことも分かる。どの程度変化するかは、物理法則から導かれるため、適切に計算すれば、より正確な値が将来について求まっていくという発想である。先のボールの軌跡の例で述べたように、ここでも、箱の大きさを小さくすれば、より正確に将来予測ができるであろうことは想像に難くない。また、日本全体での気候変化ではなく、市町村レベルでの気候変化に対する適応策などを施す際には、それに合った箱の大きさ（シミュレーション科学では、各辺の長さに注目して格子間隔と呼ぶことが多い）まで小さくすることが必要である。しかし、その代償として計算量が増えてしまう。例えば、格子間隔を半分にすると、縦×横×高さで考えて8倍の箱の数になる。同時に時間間隔も半分にするため、16倍の計算量になってしまう。一般的にコンピュータ内の演算器の処理速度を10倍速くさせるのに、3～4年の開発期間を要しているため、なかなか細かい箱の大きさでシミュレーションを実行して結果を出すことは難しい。つまり、計算量が増え計算時間を長く要してしまい、将来のことを計算する予定が、計算が終了した時には、その予測する将来時間が過ぎてしまうことになりかねない。

そこで、考えた。「1人（1台）で計算せず、みんなで計算しよう」。一つ一つの箱での気温や風速などの計算は一人で担当するが、箱の数だけ人を集めてみんなで計算すれば、どんなに細かな計算でも同じ計算時間内に終了する。実際にこの発想の下、イギリスのリチャードソンという人が、1922年の著書の中で「64,000人の計算者を巨大なホールに集めて指揮者の元で整然と計算を行えば実際の天候の変化と同じくらいの速さで予報が行える」と見積もった。実現には至らなかったが、この発想は、今では「リチャードソンの夢」と呼ばれている（気象庁・数値予報の歴史HPより）。

このように、同時に複数のデータ（複数の箱の値）を処理することで計算の高速化を図る技術としては、ベクトル化処理や並列化処理という技法が考えられてきた。この両者をうまく組み合わせたコンピュータが「地球シミュレータ」である。詳細は講演中で述べるが、例えば、並列化について簡単に触れてみる。並列化とは、多数のコンピュータをネットワークでつなぎ、莫大な計算処理量を多数のコンピュータで分散処理させることで、計算に要する時間を短縮させる手法である（リチャードソンの夢）。では、一般的なパソコン（以下PCと略記）を多数台つなげれば、「地球シミュレータ」を超すスーパーコンピュータが完成するのだろうか？ 答えは、NOである。上記の箱の例にあるように、シミュレーションを実行し、時間発展を計算するためには、隣接する箱の値を自身のデータに加えるなどの演算が必要となる。多数のPCをつなげ、それぞれのPCの計算量（計算を担当する箱の数）を減らすことは可能であるが、減らした分、隣のPCに情報を渡すための通信手続き量が増えてしまう。最近のネットワークの情報伝達速度は1Gbps（1秒間に約100MB）と高速化されてきたが、ネットワークハブなどを経由してPC間の通信を行うと、通信の衝突が発生し、実効通信速度はもっと遅くなる。隣のPCの情報が来なければ、各PCは計算を進められないため、情報が来るまで待つことになる（遊んでいて何も計算していない状態）。例えばPCの演算速度が高速になっても待っている時間が増えるだけで、全体として計算時間が

短くならないのである。一方、「地球シミュレータ」では、用いられている演算器そのものだけでもPCに比べて高速であるが、その高速演算器を(初代機では)5120個用意して、並列計算機を作ったのである。ただし、通信時間による遅延をできるだけ抑えるために、大きく二つの工夫をした。一つは、送信可能通信量を大きくし、1秒間に(双方向で)約12GBの転送速度を確保した。もう一つは、各計算機(ノード)間を単段ネットワークでつなぎ、ノード間のデータを直接やり取り出来るようにし(各ノード間に専用線を引いたことに相当)、通信の衝突を回避したのである。その他、さまざまな工夫を凝らすことで、効率よく並列計算が行うことが出来るようになった。このように作り上げた「地球シミュレータ」は、世界のスパコンの性能認定をおこなう組織「TOP500」において、5期連続世界最速の座に就いた。

ここで、「地球シミュレータ」の開発をリードされてきた三好甫氏について言及しておきたい。日本のスーパーコンピュータが世界1位になったのは、「地球シミュレータ」が初めてではない。年2回リストを発表する「TOP500」が1993年に発足して以来、初代「地球シミュレータ」がリストアップされる年までの全18回のリストの内、日本のスパコンが1位となったことは6回あり、そのうち4回は、航空宇宙技術研究所(現JAXA)の「数値風洞」である。これら2つのスーパーコンピュータの開発をリードされたのが、三好氏である。私のような者が三好氏のことを語ることはおこがましいため、詳細は「地球シミュレータ開発史」をご覧頂きたいが、一部を転記すると、「技術トレンドを的確に抑えた明確な目標設定や、ソフトウェア、ハードウェア両面に細かく目配りしながらプロジェクトをリードされた」「理論・実験という科学研究の柱に計算科学という新しい柱を国家として取り組み、説明責任を明確に果たす」と述べられていたとのことだ。

さて、このような工夫を凝らしたスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」は、2009年より現在の2代目となり、各演算器の演算速度向上、通信速度向上、搭載メモリ量増加などにより、より高速な「地球シミュレータ2」が運用されている。「地球シミュレータ」という名前の通り、主に地球科学分野のテーマに対する計算が行われており、大気・海洋・地球内部・地震・宇宙空間とさまざまな科学分野にわたっている。さらに、産業分野でも利用されており、民間企業が製品開発などに利用している。プロペラの騒音・空力、ゴムなどの材料開発、創薬、低炭素技術開発など、多岐にわたる。その産業利用を促進するための専用対応組織が海洋研究開発機構内に設置されており、プログラム開発のサポート等の対応に当たっている。「ソフトウェア、ハードウェア両面に細かく目配り」の思想は続いている。

地球シミュレータによる地球温暖化予測と、その影響評価への活用

河宮未知生（海洋研究開発機構 気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム）

2013年9月に政策決定者向け要約(SPM)が公表された IPCC 第1作業部会(WG1)第5次評価報告書(AR5)は、主に2007年の第4次評価報告書(AR4)公表以降に積み重ねられてきた科学的知見を集約し、地球環境変化に関する社会からの理解の増進に貢献している(IPCC, 2007a, 2013)。日本からも、地球シミュレータを用いて得られた温暖化予測実験結果の解析などをはじめ、多数の研究結果が引用されている。ただ、20世紀後半の温暖化について「人為起源の温室効果ガスの観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高い」との文言が社会に衝撃を与えた AR4 に比べ、従来から指摘のあった事項の確信度の増強という色合いの濃い AR5 は印象が地味なためか、報道の取り上げ方も AR4 のときよりいくぶん控えめだったと言えよう。

ただし、過去20年ほどの IPCC 評価報告書を辿り、同種の文言を取り上げてみると、1995年(第2次評価報告書, SAR)に「識別可能な人為的影響が全球の気候に現れている。」と指摘され、2001年(第3次評価報告書, TAR)ですでに「過去50年間に観測された温暖化の大部分は、温室効果ガス濃度の増加によるものであった可能性が高い。」という指摘がなされている(IPCC, 1995, 2001)。そうした意味では AR4 も確信度の増強という性格が強く、むしろ SAR と TAR との間で表現の変化が激しいという気もする。AR4 が報道で大きな扱いを受けたのは、TAR 公表以降に CO₂ 排出削減施策がじわりと社会に浸透し、人によってはそれによって不利益も感じるようになってきた時期に公表されたという情勢があったのこともかもしれない。

さて、確信度の増強、という表現はとったが、AR5 にはそれまでに触れられていなかった話題も多く含まれている。今世紀に入ってから全球平均地表気温の上昇が止まっているように見えるハイエイタスの理解や、海面上昇の見積の上方修正につながった氷床の力学的不安定の考慮、累積炭素排出量と昇温との比例関係の指摘、ジオエンジニアリングと呼ばれる気候の人工制御の可能性についての検討、などである。こうした話題に報告書で言及することが可能になってきた背景には、データ同化技術(観測データを取り込みながら予測を行うための応用数学的手法)の発達や、気候モデルに生物化学過程を結合した地球システムモデルの開発、南極やグリーンランドに横たわる氷床のモデル化技術の拡張といった、関連分野の研究者らの継続的な努力がある。今後、確信度を増強するための地道な営みを継承するとともに、こうした取り組みによって、地球環境に関するわれわれの認識を大きく進化させる可能性を追求していくことが肝要であろう。

観測、予測そのものによる知見の増大に加え、近年では、予測シミュレーションデータを直接利用して地球温暖化の影響評価を行う試みが盛んになってきている。影響評価を担当する第2作業部会(WG2)の評価報告書にもそうした研究例が多く引用されているし、国内で2015年1月夏頃の閣議決定を目指して環境省がとりまとめ中の適応計画策定の過程で

も、シミュレーションデータが活用されている。さらに、温暖化抑制の道筋を検討するための社会経済シナリオ開発に際しても、氷床崩壊といった環境激変や、ジオエンジニアリング実施の可能性を考慮する必要性が指摘されており、シミュレーションモデルを、温暖化によるリスクの定量的評価のための道具としてとらえる視点が強調され始めている。歴史的観点からみたとき、このことが AR5 の意義ということになるかもしれない。こうした筆者の認識が正しいとすれば、すでに強化の取り組みが始まっている第 2,3 作業部会との連携は今後いっそう重要性を増してくるであろう。

第 6 次評価報告書の発行についてはその有無すら正式には決まっていなかった段階ではあるが、科学者の間では AR5 後の温暖化予測実験の枠組みについての検討が始まっている。こうした枠組みは、科学的に見て有意義な実験仕様の設計という観点を基底に据えながらも、上述のようなシミュレーションモデルの役割の変化も意識して組み立てられている。AR5 までの IPCC 評価報告書で取り上げられた温暖化予測は、研究者のコミュニティが自主的に計画した「結合モデル相互比較プロジェクト」(CMIP) において遂行されたもので、次期の CMIP は第 6 期にあたり、CMIP6 と呼称される。これまでの CMIP と比べたときの大きな特徴は、より多くの研究コミュニティを取り込み、それぞれのコミュニティが関心をもつ実験を分担しながら取りまとめる責任を負う分散型運営システムが導入される点である。従来の CMIP では、WCRP 内に設置された比較的少人数(10 名前後)の委員会が、実験仕様の設計のような骨組みに関する事項から、提出するデータの種類、書式といった比較的細部にわたる取り決めまですべてを取り仕切ってきた。しかしながら、前述のようにシミュレーションモデルをリスク評価のツールとして捉える傾向が強まるなか、モデルの高解像度化によるデータ量の増大、土地利用変化や生態系の取り扱い導入によるモデルの複雑化と変数の増大などの問題が噴出し、少人数の委員らによる運営の限界が指摘されていた。次期の体制では、たとえば炭素循環や古気候、ジオエンジニアリングといったテーマに関する研究コミュニティと協力しながら、WCRP に設置された委員会そのものは全ての関連研究コミュニティに共通する基底的な実験のみを、その他のコミュニティが各々の関心に応じた実験を、それぞれ管理し、全体として CMIP6 が構成されることになる。

これまでと大きく変わり、運営に関わる人員も大幅に増えるこうした体制が、実際に機能するかどうかはやってみなければ分からない。温暖化予測に関して取り組むべき科学的課題や社会からの期待の変化に対応するための体制を、研究者らが模索している最中ということもできよう。また影響評価の分野でも、ISI-MIP のような活動を通じて組織化が進んでおり、気候モデリングコミュニティと、農業分野をはじめとする影響評価コミュニティとの連携も一層強まることが予想される。日本国内でも、2012 年度から 5 カ年の予定で進行中の文部科学省による事業「気候変動リスク情報創生プログラム」などの枠組みのもと、地球シミュレータを活用した CMIP6 へ対応する体制を整えるとともに、影響評価分野との連携強化を進めている。

参考文献

河宮 未知生 (2014) 「結びにかえて」、環境情報科学, 43(3), 49-53.

主要作物の世界規模での収量変動予測

飯泉仁之直（（独）農業環境技術研究所）

1. はじめに

収量変動予測とは予測される環境・社会経済条件、とりわけ生育期間中の気候条件に対する作物の単位面積当たりの生産量（収量）の応答を見積もることを指す。収量変動予測には様々な時間スケールがあり、今世紀半ば以降を対象とする収量の見通しは気候変化の影響・脆弱性評価に該当する。空間スケールも多様だが、近年の食糧需給の逼迫と食料輸入に依存する国の増加、極端な気象の増加を背景として生育中の作物の収量の良否を収穫の数か月前に見積もる世界規模での豊凶予測が重要性を増してきている。

世界規模での収量変動予測の研究は1952年刊行の『世界の食糧と異常気象』に既に見ることができる¹⁾。したがって、収量変動予測は農業気象学における古くて新しい研究テーマと言える。気象学における季節予測および気候変化見通しのそれぞれが計算機と情報通信技術（ITC）の発達の大きな恩恵を受けたことは良く知られているが、同様に収量変動予測もこれらの技術の恩恵を受けている。本講演では近年、季節予測に基づく世界規模での豊凶予測のこれまでの成果を概観し、今後の方向性について述べる。

2. 季節予測に基づく世界規模での豊凶予測の信頼性とその制約要因

季節予測に基づく豊凶予測の信頼性を世界規模で初めて評価した研究²⁾では、気温と土壌水分量の季節予測を用いてトウモロコシ、ダイズ、コメ、コムギの豊凶予測の信頼性を評価した。その結果、コムギとコメについては、収穫の3カ月に栽培中のコムギとコメの豊凶（前年よりも5%以上収量が低下するかどうか）を、世界の栽培面積の約2割（コムギ18%、コメ19%）で、予測できることが示された。

収量変動予測の信頼性は気候条件と作物収量の関係の強さと収量を規定する気候要因の季節予測の信頼性で決まる。しかしながら、前者が収量変動予測の制約要因となる場合は世界の栽培面積の2~4%であり、後者が制約要因となる場合は世界の栽培面積の30~44%である²⁾。すなわち、今のところ季節予測（特に土壌水分量）の信頼性の向上がより大きな課題である。豊凶予測の信頼性を改善するうえで、季節予測の信頼性の向上が特に必要な地域と気候変数は北緯30~50°の7~10月および南緯30~40°の2~4月の土壌水分量と北緯20~60°Nの3~8月の気温である³⁾。

3. エルニーニョ、ラニーニャが世界の作物収量に及ぼす影響

上記のように、土壌水分量により強く規定される地域・作物の場合（米国のトウモロコシとダイズなど）、気温と土壌水分量の季節予測に基づく信頼性の高い収量変動予測は現状では困難である。高緯度地域や降水量（ひいては土壌水分量）の季節予測の改良のために多くの研究が長年行われており、短期的に劇的な信頼性の向上を期待することは難しい。そこで、季節予測の中で最も信頼性が高いエルニーニョ・南方振動（ENSO）

の予測と世界規模の収量変動を結び付けることが解決策として考えられる。過去のエルニーニョ年とラニーニャ年の世界の収量影響を地図化した結果、気温と土壌水分量による豊凶予測が困難な高緯度地域や作物（トウモロコシ、ダイズ）でも有意な影響が検出できた⁴⁾。これにより、食糧貿易の観点から重要な世界平均収量の変動を ENSO と初めて直接的に結び付けることが可能になった。収量影響地図と ENSO 予測を用いた豊凶予測の信頼性を評価することが次の課題である。

4. 全球作物データベースの構築

上で紹介した研究はいずれも農環研で開発した過去 25 年間の世界の作物収量データベースを利用している⁵⁾。こうした世界規模での物収量データベースはミネソタ大学に次いで世界で 2 例目であり、世界規模での豊凶予測を行ううえで不可欠なデータである。作物収量に加えて、豊凶予測では「どこでいつ、何がどのようにどのくらい栽培されているか」を把握することが重要である。現状では、これらの情報の大半は 2000 年頃の 1 時点しかなく、過去の世界のデータを整備することが収量変動予測の信頼性を向上するうえで急務である。

5. まとめ

収量変動予測は農業気象学における古典的なテーマである。しかしながら、世界の食料需給の監視と予測に対する各国政府と国際食料機関の関心は近年、急速に高まっている。計算機資源と ITC を活用し、世界規模での食料生産に関する予測情報を提供することが収量変動予測に期待される。

引用文献

- 1) 久保祐雄・谷信輝, 1952: 世界の食糧と異常気象. 農林統計協会, pp. 311.
- 2) Iizumi, T. *et al.*, 2013: Prediction of seasonal climate-induced variations in global food production. *Nature Climate Change*, **3**, 904-908.
- 3) Iizumi, T. *et al.*, 2014: Characterizing the reliability of global crop prediction based on seasonal climate forecasts. In: *The Indo-Pacific Climate Variability and Predictability* (eds. Yamagata, T. and S. Behera), Asia-Pacific Weather and Climate book series, the World Scientific Publisher (in press).
- 4) Iizumi, T. *et al.*, 2014: Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature Communications*, **5**, Article number: 3712, doi:10.1038/ncomms4712.
- 5) Iizumi, T. *et al.*, 2014: Historical changes in global yields: major cereal and legume crops from 1982 to 2006. *Global Ecology and Biogeography*, **23**, 346-357.

陸域生態系モデリングと温暖化予測

羽島 知洋（海洋研究開発機構）

IPCC はこれまで、生物地球化学的側面、とくに炭素循環過程に関する報告に相当の分量を充ててきた。これは温暖化の主たる原因である大気中の二酸化炭素(CO₂)が、全球の炭素循環を構成する重要な一化合物であるとともに、その濃度が人為 CO₂ 排出量だけでなく海洋や陸域生態系の CO₂ 吸収速度に強く制御されているためである。陸域生態系では、バイオマスとして生態系に貯留(450-650 PgC)され、土壌には 1500-2400PgC の炭素が存在しているが、陸域生態系による正味の CO₂ 吸収速度は環境や炭素循環の状態に依存しながら決まる。この炭素循環と気候との相互作用を理解する際、CO₂ 濃度増加に対する炭素循環の応答と気候変化に対する応答の 2 つに分けて考えることが多い。前者は植物に対する CO₂ の施肥効果に、後者は生態系全体の呼吸速度などに関係する。

このような炭素循環と気候との相互作用を理解・定量化し、この相互作用を考慮に入れた上で温暖化予測を行うためには、陸域や海洋における生物地球化学過程を含めた数値計算モデルが必要となる。このようなモデルは「気候-炭素循環モデル」と呼ばれ、現在では大気化学過程といった他の重要な過程も含むことから「地球システムモデル」などと呼ばれることも多い。このようなモデルは、地球環境に関わる多くの過程を有しており、～数百年スケールでの長期予測に主として用いられる。海洋研究開発機構/東京大学大気海洋研究所/国立環境研究所においても”MIROC-ESM”と呼ばれる地球システムモデルが開発され(Watanabe et al., 2011)、IPCC の第 5 次報告書でも多数参照されている。

近年、地球システムモデルを用いた温暖化予測において、いくつかの新しい試みがなされてきている。まずは「許容排出量」という変数の算出である。これはあらかじめ記述された大気 CO₂ 濃度の時系列変化を実現するために許容される人為 CO₂ 排出(相当の)量である。将来の CO₂ 排出量が直接的に示される

ため、政策決定的に有用な指標である。次に、累積人為 CO₂ 排出量と温暖化の関係の定量化がある。温暖化の度合いは CO₂ の排出経路に依らず CO₂ 排出量の累積値にほぼ比例する、ということが、複数の地球システムモデルを用いた数値実験で示されており、今後の温暖化進行に関して新たな見通しが得られるようになった。地球システムモデルを用いた温暖化予測、特に陸域生態系に関する課題としては、生態系の CO₂ 応答に大きな不確実性が含まれていることが挙げられる。また、土地利用変化による生態系・炭素循環への攪乱に関する取り扱いにも、課題が多い。

このような地球システムモデルによる温暖化予測について、近年の研究成果を交えつつ、特に陸域生態系の炭素循環に焦点を当てて発表を行う。

参考文献

- 1) 羽島知洋(2014): 気候変動 (WG1): 炭素循環および累積炭素排出量に対する気候の過渡的応答. 環境情報科学, 43(3), 14-20.
- 2) IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 3) Watanabe, S., T. Hajima, K. Sudo, T. Nagashima, T. Take-mura, H. Okajima, T. Nozawa, H. Kawase, M. Abe, T. Yokohata, T. Ise, H. Sato, E. Kato, K. Takata, S. Emori, and M. Kawamiya (2011): MIROC-ESM: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. Geosci. Model Dev., 4, 845–872.

2013年12月15日の三宅島・御蔵島における液体炭酸散布による人工降雨実験
○真木太一（国際農林水産業研究センター、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求められ、農業や沙漠緑化への利用が期待されている。液化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の拡張を図り雪片に成長させて地上に雪・雨を降らす目的で、三宅島・御蔵島・新島付近では、2013年12月15～16日に3回目の人工降雨実験を行った。雲の厚さが薄かったが、雨脚の確認により2日間とも実験は成功したと判断された。この内、主として12月15日の結果を報告する。

2. 実験・観測結果

①12月15日(三宅島南方で御蔵島西方)の散布状況:御蔵島西方30km付近で散布(南北約20km)、雲頂1829m、気温 -6°C 、風向WNW、風速20.6m/s、雲底1067m、気温 $+1^{\circ}\text{C}$ 、風向・風速測定なし、雲の厚さ762m、厚さは薄く、雲密度も低い。逆転層(名古屋付近):2740m~3890m、厚さ1150m、散布高度1372m、気温 -3°C 、風向NW、風速18.0m/s、散布雲は北西および上空の西北西の風で南東に移動、散布率:4.0g/s、散布時間:11:28~11:58の18分間、3回であった。

②気温垂直分布:12月15日:機体窓への降水と雨脚を確認した。散布後30分以降(約1時間後まで)に、線状に雲が消え、雲に穴が開いた。雲の消えた幅は1~3km、散布時よりの滞在時間:11:28~12:47、消えた雲の上層には、発達中の対流雲が一部の残った状況が写真撮影された。

③12月15日における液体炭酸の散布雲からの雨脚と散布による降水で線状に消えた幅2~3kmの雲の切れ跡の状況を示す(図1)。

3. まとめ

三宅島・御蔵島付近で、2013年12月15日に実施した人工降雨実験は成功した。明確に散布コースに沿って降雨があり、その場所には線状に消滅した雲のなくなった状況(幅2~3km)が確認できた。そして、非常に薄い雲(600~800m)からでも約30分後に雨脚が見られた。また、航空機の窓に雨が衝突する状況が確認できた。従って、人工降雨実験が成功したと判断された。なお、この状況は2013年3月14日の降雨状況と類似していたが、2012年2月26~27日の実験とはかなり異なっていた。



図1. 12月15日の液体炭酸散布雲からの雨脚と散布による降水で線状に消えた幅2~3kmの雲の切れ目

水塚の農業気象災害に対する予防の知恵

福岡義隆（立正大・名誉教、広島大・名誉教）

1. はじめに

埼玉県内の水塚に関する最新文献の紹介を兼ねて、水塚の現状と今日的意味を考察してみたい。

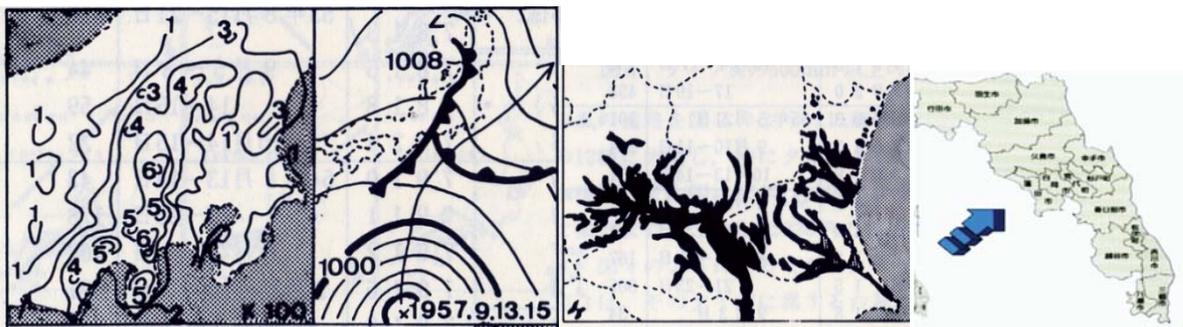
埼玉県東部の水塚は台風（Catherine Typhoon（1959.9.13）等）による洪水地帯に多く、本稿ではカスリン台風を例に紹介したい。

水塚とは、台風などによる洪水の際に避難するために、屋敷内にあらかじめ築き設けた高地のことで、母屋より一段高い盛り土上に造られた洪水灌漑用施設のことで、水屋、みずか、くら、などとも言われている。

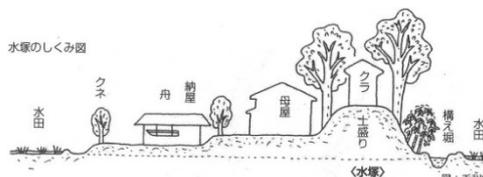
2. 水塚に関する最新文献

東部地区文化財担当者報告書第7集『埼玉葛・北埼玉の水塚』（2013年12月）、志木まると博物館、河童のつづら編『水塚の文化誌』（2011年3月、まつやま書房）、及び、高村弘毅他編著『流域環境を科学する』（2001年12月、古今書院）

埼玉県東部の水塚は台風（Catherine Typhoon（1959.9.13）等）による洪水地帯に多い。



水塚の外観と分布、タイプ分類、農業関係の用途などについて



外観



タイプ分類

3. まとめ

- ① 家族や近隣の人々の避難場所として利用されてきた。
- ② 牛馬をも避難させ、農業生産に有用な畜力を維持することができた。
- ③ 水塚を所有できるか否かは、防災への意識の高低と、経済力にも左右された。
- ④ 共同体における相互扶助精神が体现された施設であり、今なお、意識は薄れていない。
- ⑤ 災害は忘れた頃にやってくるのであるから、水塚を後世に受け継ぐことが強く望まれる。

青色・赤色 LED 光の時間差照射がコスレタスの成育に及ぼす影響

°木村圭佑・地子智浩・松田怜・富士原和宏（東大院農）

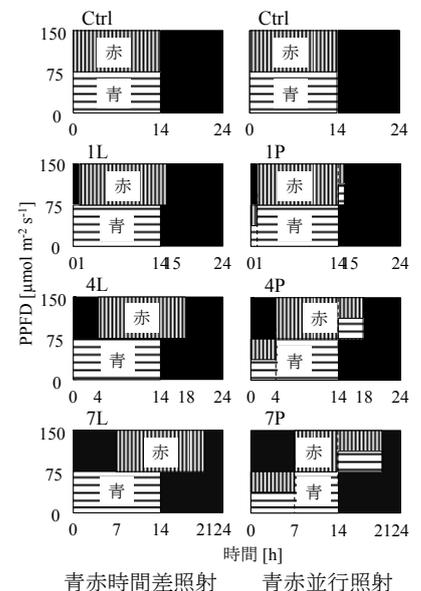
1. はじめに 日の出前の青色光照射は、赤色光照射、青色・赤色混合光照射および非照射よりもキュウリ苗の葉面積および新鮮重を大きくし (成・高野, 1997)、同様に、白色蛍光灯による 10 時間の明期開始前の青色光照射は赤色光照射よりも、また明期終了後の赤色光照射は青色光照射よりも、それぞれハウレンソウの乾物重を大きくする (Hanyu and Shoji, 2002) との報告がある。これらの報告は、明期開始時の青色光照射と、明期終了時の赤色光照射が植物の成長促進に有効であることを示している。これらの光照射法と同様の成長促進効果を光源に青色・赤色 LED を用いる人工光栽培において得ようとするならば、明期開始時に青色光を先に点灯して、次にある時間遅れて赤色光を点灯する (それぞれ同時間ずつ照射) という照射法が考えられる。本研究では、この照射法の効果の検証を含め、青色・赤色 LED 光の照射時間差がコスレタスの成育に及ぼす影響を調べた。

2. 材料および方法 播種後 1 週間育苗したコスレタス苗を栽培実験に供した。図 1 左に示す 4 試験区 (青赤時間差照射) を設定し、各試験区 4 株を 14 日間栽培した。実験を 2 回反復した。また、光合成有効光量子束密度 (PPFD) の日変化のみの影響の程度を評価するために、図 1 右に示すように、PPFD の日変化が青赤時間差照射と同様であり、青色光と赤色光の PPFD 比を 1:1 とする 4 試験区 (青赤並行照射) を設定した。

3. 結果および考察 青赤時間差照射実験では、4L 区および 7L 区で新鮮重、葉面積が Ctrl 区と比較して有意に大きくなった (図 2A)。青色光より赤色光の照射時間帯を 4 時間以上遅らせると、コスレタスの成長が促進されたといえる。暗期の後に青色光を先に点灯して、7 時間遅れて赤色光を点灯する (それぞれ 14 時間ずつ照射) という照射パターンで、成長が青赤並行照射の場合よりもコスレタスの成長が促進され、当初の推察が正しいことが示された。他方、遅れ時間が大きくなると、徒長した草姿になる傾向が認められ、7L 区では自立できない株もあった。

青赤並行照射実験では、7P 区で新鮮重、乾物重および葉面積が Ctrl 区と比較して有意に大きくなり、また PPFD $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の時間が長くなるにつれてそれらが大きくなる傾向が認められた (図 2B)。これは PPFD が低い $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の時間が長い試験区ほど光利用効率が高くなり、結果として日積算純光合成量が大きくなったためであると説明できる。また、PPFD $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の時間が長くなると若干徒長した草姿となった。しかし、青赤並行照射の試験区間の草姿の差は、青赤時間差照射における試験区間のそれより明らかに小さかったことから、暗期の後の青色光単独照射、明期の後の赤色光単独照射が徒長をより促進していたと考えられる。

4. おわりに 発表時には、上記の結果についてフィトクロム光平衡値の日変化および PPFD の日変化の観点からも考察を行う予定である。



青赤時間差照射 青赤並行照射

図1 青赤時間差照射実験 (Ctrl, 1L, 4Lおよび7L区) および青赤並行照射実験 (Ctrl, 1P, 4P, および7P区) の試験区
青色光および赤色光の照射時間および日積算PPFDが等しい

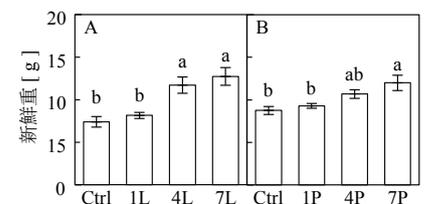


図2 青赤時間差照射実験 (A) および青赤並行照射実験 (B) の新鮮重
図中のバーは標準誤差 (A: n=8, B: n=8) を表す
異なる英小文字はTukeyの多重比較検定 (有意水準5%) で有意差あり