

# 農業をめぐるIT化の動き(2)

## —ハイパフォーマンスコンピューティングの活用事例を中心に—

野村 稔 金間 大介

### 概要

農業技術が進歩した現在でも、年々の豊凶や品質の良否は、多くの部分はその年の気象条件に左右されるため、農業において予測は長い間の関心事である。現在、農業分野にハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) を活用した高精度の予測を取り入れる動きが起きている。

一つ目は、米国カリフォルニア州での灌漑システム管理である。ここでは HPC の活用による地域の気象予測と観測データを統合・処理し、きめ細かな水散布計画を作成しており、大量の水と電力費用の削減を実現している。二つ目は、日本の研究チームによる3か月先の短期季節予測による穀物の世界的豊凶予測手法の開発である。収量と土壌水分・気温の過去の実測データの関係式を求めて収量予測を行い、HPC を用いた季節予測と収量予測を結合し世界レベルの豊凶予測の可能性を示した。

農業の生産性予測においては、シミュレーションモデル、データ、そして両者間の整合などの高度化が重要である。農業の情報通信技術 (IT) による高度化は、日本の経済発展へ大きなインパクトを与えるものと捉えられ、国の競争力維持の源泉として戦略的に考えていくべきである。

**キーワード：**農業、情報通信技術、IT、ICT、ハイパフォーマンスコンピューティング、HPC、スーパーコンピュータ、シミュレーション、気象・気候予測、収量予測、リモートセンシング

## 1 はじめに

科学技術動向誌 (2014年1・2月号以下、「前号」という)<sup>1)</sup>に農業をめぐる情報通信技術 (IT) を活用する動きを述べた。そこでは、農業における技術革新が期待される領域を、図表1の①②③と分類し、特に②の生産領域に焦点を当て、圃場・施設栽培などでセンサーやカメラ等のIT機器が導入され、ネットワークシステムやクラウドサービスを活用して農業生産の高効率化が進められている現状を示した。本稿は、前号の続編として、同じく②の生産領域に焦点をあて、地域や国・地球レベルでの事例をとりあげてその現状を述べる。

農業技術が進歩した現在でも、年々の豊凶や品質の良否は、多くの部分はその年の気象状況 (気温や降水量など) に左右される。気候変動や気象の予測

は既にも実施されており、その結果から気象状況の変化をキャッチした先読みにより生産性を向上させることが行われてきている。そこには過去からの経験に裏打ちされたベテランの営農者の目と勘 (暗黙知または経験則) が必要である。すなわち、気象・気候予測を暗黙知によって補完することで生産性向上に結びつけていた。そのため、限られた地域・領域での実現に留まる傾向や、高齢化によりその適用機会が減少しつつあるといった課題もみえてい

図表1 農業における技術革新が期待される領域

| 領域①                             | 領域②                    | 領域③                |
|---------------------------------|------------------------|--------------------|
| 品種改良や遺伝子組み換え技術等の農産物そのものを対象とした領域 | 栽培技術や土壌など生産環境に焦点を当てた領域 | 輸送や保存など流通・販売に関する領域 |

(本稿の対象)

た。今、ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) の活用による高精度な気象予測と農業データとの統合により、広域支援を可能とする新しい動きが現れてきている。HPC とは、自然現象のシミュレーションや生物構造の解析など、非常に計算量が多く高性能な計算が要求される処理をさし、その処理にはスーパーコンピュータが使用される。

以下では、農業への気象・気候が与える影響と予測の重要性、HPC を活用した高精度な気象予測を用いた事例および気象予測と収量予測とを統合した事例を紹介し、課題と今後へ向けた提言を示す。

## 2 農業への気象・気候が与える影響と予測の重要性

### 2-1 農業への気象・気候が与える影響

農業への気象・気候<sup>注1)</sup>が与える影響は大きい。

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 (農研機構) では、日本の農業への温暖化の影響を明らかにすることを目的として、すでに顕在化している温暖化の影響等についての調査を各都道府県の公立農業関連研究機関を対象に実施した。その結果、温暖化が原因で発生している現象があるとした都道府県数の割合 (全回答数 47 比) は、果樹では 10 割、野菜・花きで 9 割、水稻で 7 割にものぼっている<sup>2)</sup>。

農業は一般に、長い経験から、ある程度の気象の年変動については織り込んで生産をしているが、その想定を超えた極端な現象が現れると被害が発生するとされている。温暖化の影響として重要な点は、高温被害の発生頻度 (発生確率) が高くなっていることと、過去に経験したことのない高温が現れ

ることといわれている。また、温度だけでなく降水量も農業生産にかかわる重要な要素である<sup>2)</sup>。

### 2-2 農業への気象予測の研究

気象が農作物に与える影響については、様々な研究が行われてきている。その一例を水稻栽培の例で示す。

図表 2 は、水稻の生育ステージに応じた気温による影響を示している。

東北地方では、近年夏季天候の年次変動が大きくなっており、気象被害の危険性が高まっている。そこで、気象予測データを利用して、圃場の栽培品種や作業履歴に対応した 1 週間先までの水稻生育予測、気象被害予測、病害発生予測が可能なシステムを開発している。空間的にきめ細かく、かつ定量的な気温の予測情報を作成するために、東北農業研究センター (東北農研) が作成した東北地方の 1 キロメートルメッシュの平年値と、気象庁が作成している 2 週目までの気温の予測値を用いて、1 キロメートルメッシュの気温予測値を作成して提供している。そして予測値を基に水稻栽培管理警戒情報を作成しウェブサイトを通じて利用者に提供し、事前に適切な対応をとれるように支援している<sup>4, 5)</sup>。

### 2-3 農産物への予測の研究

農産物への予測である農業のシミュレーションモデル (農業モデル) の研究は、収量の予測も含めて、長い間、多岐にわたって進められてきている。詳細は、参考文献<sup>6)</sup>に詳しいが、対象は、作物・病虫害・農業気象と幅広く相互の影響を考慮できる

図表 2 水稻の警戒気温

| 時期                      | 警戒気温 (7日間平均) | 懸念される症状 |
|-------------------------|--------------|---------|
| 7月中旬から8月上旬 (幼穂形成期～出穂期前) | 20°C以下       | 障害不稔発生  |
| 8月上旬 (出穂期)              | 20°C以下       | 障害不稔発生  |
| 8月上旬から8月下旬 (出穂期～登熟初期)   | 27°C以上       | 高温登熟障害  |

出典：参考文献 4 から引用

注1 気象とは広い範囲での大気の状態を指し、気候とは年間や数年間を通した天気 (晴れ、雨など) の長期的な傾向で、その地域を特徴づける大気の状態を表す<sup>3)</sup>。

統合モデルも存在し、手法は、ミクロなモデルを積み上げるシステマティックなモデルや観測データから関係性を推定する統計モデルなどがあり、モデルの規模もさまざまとなっている。

研究事例をみると、日本で行われたデータ統合・解析システム (DIAS) の研究では、農作物の栽培可能性を、農業モデルを使用して予測する研究が行われた。開発したツール「イネの栽培可能性予測シミュレータ」は、気温や日射量などの観測データを使用してイネの栽培可能性の情報を提供している<sup>7)</sup>。また、過去の作物・気象データを利用者が用意して、当該地域のパラメータ値を自動決定し、生育シミュレーションを行うプログラムの研究開発も行われている<sup>8)</sup>。

データ規模の増加に伴って農業モデルに必要とされる計算パワーも増してきている。

## 2-4 予測の重要性

気象条件と収量が予測できると適切な事前対応が可能となる。もし種をまく前に収量予測ができれば、その年の気象に適した穀物を選ぶことができる。今や、穀物の豊凶問題は一国に閉じたものではなく、世界の穀物輸出国の不作は国際市場価格に大きく影響し、特に開発途上地域の低所得層の栄養状態を悪化させる一因となっている。そのため、気象・収量予測技術の精度向上による世界の穀物生産の動向の監視が望まれている。食糧の備蓄に関しても豊凶を事前に予測できれば有効な対策が可能にな

る。気象・気候予測、収量予測が農業に与える影響は計り知れない。

以下では、HPC を活用することで高精度な気象予測により新たな可能性を生み出している事例を紹介する。

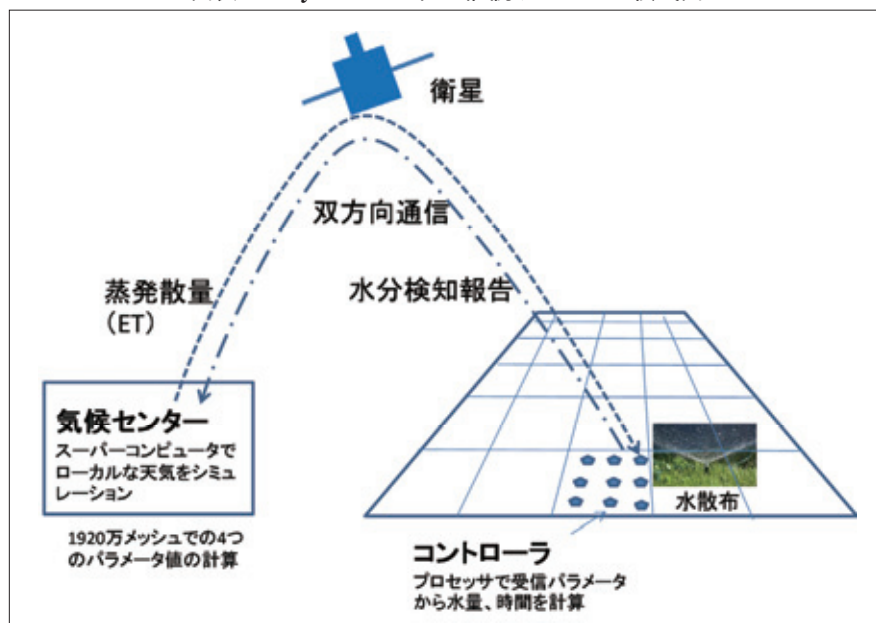
## 3 高精度な気象予測を活用した事例

農地に外部から人工的に水を供給する灌漑は、農産物や植物の生育にとって重要である。灌漑では、生産性向上とともに水の浪費を防ぎ費用の削減を図るために、適量の水をいつ散布するかが重要な課題となる。米国カルフォルニア州の HydroPoint 社は、スマートイリゲーションとよぶ新しい灌漑サービスを提供している。

HydroPoint 社は、HPC を使用して北米全体にわたって 1 平方キロメートル毎の地域の天気を予報する気候モデリングセンター (以降、気候センター) を運用し、顧客の灌漑場所に配置され地下に埋設されたワイヤを経由して水ラインのバルブの開閉を制御するコントローラとの間を双方向衛星通信で結んでいる。(図表 3)

気候センターは、毎晩、各コントローラのマイクロプロセッサに向けて、地域の気象関連データである蒸発散量 (EvapoTranspiration: ET と略し、水分の蒸発だけでなく植物の生育による蒸散を足し合わせたもの) を算出して送信する。その ET は、コントローラ内のマイクロプロセッサ上で、植物の種

図表 3 HydroPoint 社の灌漑サービスの模式図



出典：参考文献 9 を基に科学技術動向研究センターにて作成



図表 4 収集データとその周期

| 収集データ  | 周期    |
|--|-------|
| 米国海洋大気庁 (NOAA) とその他の公開ソースから衛星を介してリアルタイムの数百万のデータポイントをダウンロード | 1 日毎  |
| 世界中の地上気象観測・海洋ブイ・気象観測気球からのデータ                               | 1 時間毎 |
| グローバルな衛星画像データ  | 15 分毎 |
| 米国のドップラー・レーダーからのデータ  | 1 時間毎 |

出典：参考文献 9 を基に科学技術動向研究センターにて作成

類ごとに、土壌種類や地形などの要素を考慮して適量の水をいつ散布するかを正確に計算するために使用される。また、水センサーが水分を検出した時はコントローラに灌漑の抑制信号を送信するとともに気候センターにも連絡する。

気候センターでは、ET を、每晚、1 平方キロメートルの詳細さで正確に推定するために、気温、風速、日照時間、相対湿度をパラメータとする計算式を使用する。そのためには、北米の 1920 万の 1 平方キロメートル格子の各々で、これら 4 つの入力パラメータを求める必要がある。パラメータの算出には、数値気象予報モデル<sup>注2)</sup>を使用しているが、毎日 1 平方キロメートルの解像度でこの数値気象予報モデルを実行するには強力な計算パワーが必要とされるとともに、その基となる膨大な入力データの収集が必要になっている。

図表 4 は、ET 計算用に気候センターが収集しているデータと収集の周期を示す。

収集したデータの品質は重要であり、収集データを終始チェックして特異な測定値を取り除き品質向上を図っている。算出した ET 値が正確であるかは最も大切であり、実際の観測点（計算で使用する格子数に比べて極めて少ない）における実観測データとの整合に力を注いでいる。

HydroPoint 社は、8,000 以上の顧客を有し、2011 年には全顧客の合計で 644 億リットルの水量削減と 1.11 億ドル以上の水費用を低減すると共に、6800 万キロワット時間の揚水電力量を節約したとある<sup>9)</sup>。

## 4 気象予測と収量予測を統合した事例

(独) 農業環境技術研究所 (以下、「農環研」という)

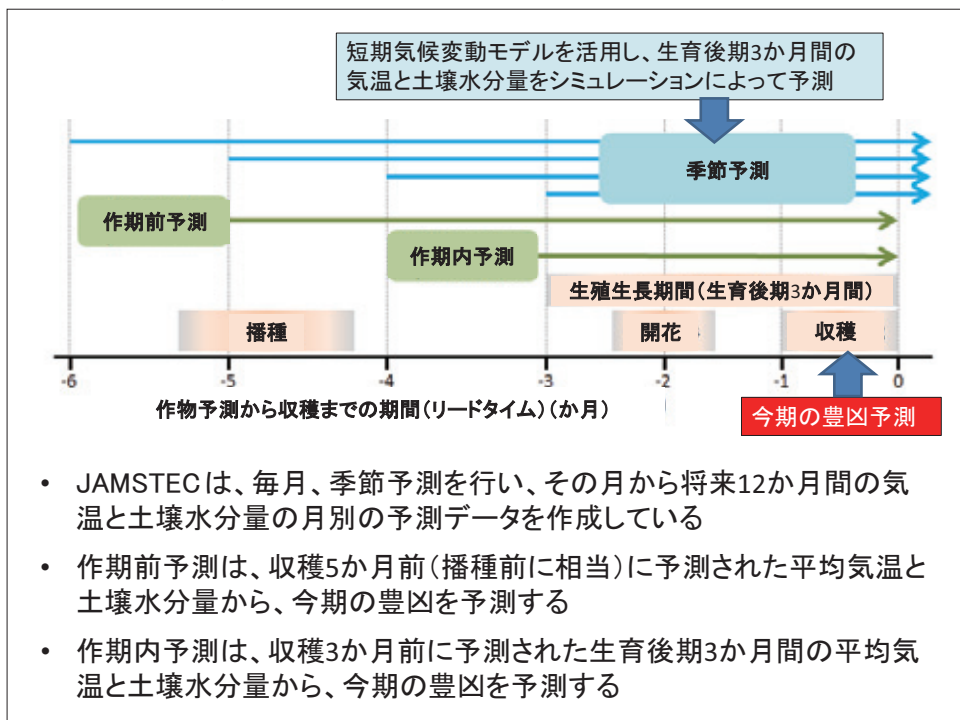
と(独)海洋研究開発機構 (以下、「JAMSTEC」という) を中心とする研究チームは、オーストラリア、英国、米国の研究者と協力して、3 か月先の短期気候予測 (季節予測) による穀物の世界的豊凶予測手法を開発した。従来から、季節予測による主要穀物の豊凶予測は行われていたが、ある特定地域 (オーストラリアなど) に限られていた。穀物の種をまいてから収穫までに要する数か月間のうち、収穫前の 3 か月間 (生育後期) の気象条件 (気温、土壌水分量) から、その年の収量 (前年比) を予測するものである。(図表 5)

本研究は、まず過去に収集された農業と気象の実データを用いて相互間の関係を求めている。図表 6 に今回実際に行った収集データとそれらの収集方法を示す。図表から明らかであるが、農産物の収量データ (農業データ) はシミュレーションによる収量予測に使えるデータベースが存在していなかったため、その作成に多大な労力を要している。農業データの品質を上げるために特異なデータを除外する作業も発生している。各国が提供するデータに基づいた収集のため、データ間の品質の差異も発生したとある。それ以上に困難だったのは、収集した農業データは、国や州といった行政区画ごとに集計されているため気象データの格子への合わせこみ (整合) が必要になったことである。結果として 1982 年から 2006 年までの農業データベースを作成した。

これらの実データを用いて、コムギとコメについて生育後期 3 か月間の気象条件 (気温・土壌水分量) の前年差と、当該年の収量と前年の収量との比を推定する式 (重回帰式を作成：収量変動予測モデルと呼ぶ) を作成した。この式を用いることで、気象条件のみに基づく豊凶の推定が世界規模で可能となり、世界の栽培面積の 30% (コムギの場合)、33% (コメの場合) で精度良く推定できたとしている<sup>10,11)</sup>。

注2 数値気象予報モデルとしては、ペンシルベニア州立大学とボルダーの国立大気研究センター (NCAR) により開発された MM5 (Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model) を使用している。また、NCAR、米国海洋大気庁 (NOAA) とパートナーによって開発された MM5 より高度な気象予報モデルも使用とある。

図表5 シミュレーション予測結果に基づいた豊凶予測



出典：参考文献 10 等を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表6 収集データと収集方法

| 収集データ            |                       | 収集方法  |
|------------------|-----------------------|---|
| 気象データ            |                       | 気象庁と電力中央研究所が作成した気象データを利用  |
| 農業データ<br>(収量データ) | ① 一部の先進国の収量データ        | 公開データをダウンロード  |
|                  | ② 紙資料でしか存在していない地域のデータ | データの提供を受けてコンピュータ入力  |
|                  | ③ 不足している地域の収量データ      | 国連食糧農業機関(FAO)が持つ国別の収量データをもとに衛星から得られた植物の生産活動の場所ごとの違いを考慮して、格子(グリッド)ごとに収量を推定 |

出典：参考文献 11 を基に科学技術動向研究センターにて作成

JAMSTEC は、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ 2」を用いて JAMSTEC が欧州連合 (EU) と共同開発した短期気候変動モデルを活用して生育後期 3 か月間の気温と土壌水分量を予測している。その予測結果を前記の式に入力することで、収穫 3 か月前の時点で、栽培中のコムギとコメの不作 (または豊作)<sup>注3)</sup>を推定した。その結果、世界の栽培面積の約 2 割 (コムギ 18%、コメ

19%) で推定値が実測値と整合していることを確認した。

この研究成果は、英国科学誌「Nature Climate Change」に受理されて 2013 年 7 月 21 日発行のオンライン版に発表された<sup>12)</sup>。今回の研究は、「短期気候変動予測 (季節予測) を用いた豊凶予測の潜在性が全球でどの程度あるかを定量的に見積もった」ことが評価されたとしている。

注3 豊凶予測と不作 (または豊作) について

豊凶予測とは、作柄の良し悪し、特に単位面積当たりの生産量 (収量) の良否を収穫前に見積もること。不作 (豊作) とは、ここでは、前年に比べて、当該年の収量が 5% 以上、低下 (増加) することとしている。(出典：参考文献 10)

## 5 課題と今後へ向けて

3章では気象予測の活用事例を、4章では気象予測と収量予測の統合事例を述べた。これらは、HPCを活用した高度な予測に基づいて国・地球レベルの広域な規模を対象にしており、今後の方向性を示すものとして注目できるが幾つかの課題がみえる。以下ではそれらを探り上げ今後へ向けての対応を検討する。

### 5-1 シミュレーションモデルの高度化

営農者は入手して意味のある気象・気候予測情報の提供を期待している。3章の事例では1キロメートル平方毎のETという気象情報が必要とある。予測における解像度の高精度化は重要であるが、例えば、このように求めるべき情報を明確に設定し、それへ向けた気象・気候予測のセグメント化(特定目的化)などの一歩踏み込んだ情報の提供も有用ではなかろうか。また、農業への応用では、季節予測と日々の天気予測の中間スケールに位置する開花時期などの予測も重要である。この予測は難しい課題ではあるが、新たな研究が開始される動きもあり、注目していく必要がある。

収量予測モデルの高度化については、4章の事例では、ダイズとトウモロコシについては十分な精度の豊凶予測が出来なかったとある<sup>11)</sup>。本研究者は、気温、土壌水分量以外の条件を加味した収量予測モデルの精緻化の必要性を指摘しており、その研究の推進によりさらに現実に近い収量の予測を期待したい。また、これまでにない広域へ適用する新モデルの構築のためには、新モデルに入力するパラメータをどのように決めるかがキーとなる。従来の狭い地域を対象としたモデルの入力パラメータは、そのまま広域へ適用することは難しいため、高度な統計処理などを駆使した新しい研究の展開が望まれる。

### 5-2 データの高度化

3、4章の事例では、ともにデータ収集に多大な労力を要している。広域なデータ収集の容易化と収集データの品質向上が求められる。その課題の解決へ向けた方策の1つに、衛星によるリモート

センシングが挙げられる。衛星画像から、圃場での農作物の収量や品質の予測・自然災害の程度・休耕地の位置確認ができるとの報告もある<sup>13)</sup>。地上の観測点での測定データとの間での較正や補完などによるデータ精度のさらなる向上が必要になる。

また、収集したデータと気象データとの整合は重要である。4章に述べた気象データと農業データの相違で判るように、気象予測と収量予測との組み合わせは、相互のデータ間の格子の整合によってはじめて可能となり、それが広域での高精度な予測へとつながることになる。従来から気象データから農業データで必要となる格子間隔への補間を目指すダウンスケリング技術<sup>14)</sup>の適用も行われてもいるが、あるべき予測の姿を想定した上でのデータ収集方法と加工の整合化も必要であろう。農業データのグローバルグリッド(格子)データベース化は重要な研究領域である。

そして、地球規模での豊凶予測などの有意な農業データの収集では、収集方法や品質確保などでの国際協力も必要な要素であり、そうした推進も望みたい。

### 5-3 モデルとデータ間の整合の高度化

観測データの数はモデルが必要とする格子点数に比較して極めて限定されている。そのため、観測データとモデルを組み合わせ、現実的なデータセットを作ることが必要であり、その手法を「データ同化」と呼ぶ。データ同化によって、観測データをもとにしてモデルで用いるパラメータなどの最適化、数値予報のための初期条件・境界条件の作成などが可能になるとしている<sup>15)</sup>。コンピュータの計算能力の向上とともに大規模で精緻化するモデルと、同じく大規模化が予想される観測データの融合技術の開発が必要とされている。

## 6 おわりに

農業をめぐる IT 化の動きは着実に進んでおり生産性向上への期待は大きい。3、4章でとりあげた事例は、HPC を活用する分野の一つとして農業を捉えた動きであり注目したい。ここでは予測とデータ収集・統合がキーとなっており、HPC とビッグデータ



の活用がますます重要になってきたことを示している。

予測については、文部科学省は、すでにスーパーコンピュータ「京」を中核とするハイパーフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) を最大限に活用するために、HPCI 戦略プログラムの中で、高精度の気候変動シミュレーションにより地球温暖化に伴う影響予測や集中豪雨などの予測研究を行っている<sup>16)</sup>。そして、今後10年程度を見据えた日本の「革新的ハイパーパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI)」計画の中間報告<sup>17)</sup>にも、気象現象の高精度予測も大きな課題として記載されている。気象・気候予測は、農業はもとより自然災害・生態系保全などとその適用は大きく広がる。

データ収集については、「平成25年度の我が国における地球観測の実施方針」において、気候変動は農業生産にも大きな影響を与えるため地球観測が重要であるとし、G20 農業大臣会合において、我が国を含めた世界における食料の安定供給のために、農業に関する情報改善のツールとしてリモートセンシングの活用が提案されているとの記載がある<sup>18)</sup>。

観測データや衛星画像データ等のさまざまなデータを統合・融合し、それを起点に有意な情報を引出す処理基盤の充実をはかる動きもみえる<sup>7)</sup>。

これらの動きを着実に推進することで大きな成果につなげるべきである。

農業の生産性予測においては、シミュレーションモデル、データ、そして両者間の整合などの高度化が重要である。農業のITによる高度化は、日本の経済発展へ大きなインパクトを与えるものと捉えられ、国の競争力維持の源泉として戦略的に考えていくべきである。そして、農業のITによる生産性向上や予測精度の向上には、農業とITの双方からの歩み寄りによるソリューション開拓が必要である。アカデミア、産業界ともに積極的に取り組むべき研究開発テーマである。

## 謝辞

本稿の執筆にあたり、(独)農業環境技術研究所 大気環境研究領域 飯泉仁之直様、(独)海洋研究開発機構 アプリケーションラボ 兼 地球環境変動領域 佐久間弘文様から多くの情報と助言を頂きました。この場を借りて、厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 金間大介、野村稔「農業をめぐるIT化の動き：データ収集、処理、クラウドサービスの適用事例を中心に」科学技術動向、No.142、2014年1・2月号
- 2) 「気候変動の状況と農作物への影響」農業・食品産業技術総合研究機構：  
<http://www.ja-aichi.or.jp/asc/noushinki/2.pdf>
- 3) 「天気、気候」、<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A9%E6%B0%97>
- 4) 「農業分野における気候リスクへの対応の実例：2週目の予測を使って水稲の冷害・高温障害へ対応する」気象庁：  
[http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/taio\\_jiturei.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/taio_jiturei.html)
- 5) 「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」農研機構：  
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2010/tohoku10-03.html>
- 6) 田中慶「農業シミュレーションモデルにおける分散協調システムのためのフレームワークに関する研究」中央農研研究報告、20:1-115 (2013)
- 7) 地球環境情報融合プログラム、<http://www.editoria.u-tokyo.ac.jp/projects/dias/>
- 8) 「広域水稲生育・収量変動予測モデルの自動較正およびシミュレーションプログラム」農業環境技術研究所：  
[http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result28/result28\\_30.html](http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result28/result28_30.html)
- 9) 「Smart Irrigation: A Supercomputer Waters the Lawn」Scientific American：  
<http://www.scientificamerican.com/article/smart-irrigation-a-super/>
- 10) 「世界のコムギとコメの不作を収穫3か月前に予測する手法の開発—季節予測による穀物の世界的豊凶予測—」(独)農業環境技術研究所、(独)海洋研究開発機構：<http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/press/130719/press130719.html>
- 11) 「世界のコムギとコメの不作を収穫3か月前に予測する手法の開発—3ヵ月先の気候予測から世界的な豊凶を予測—」農環研ニュース、No100、2013.10
- 12) T.Iizumi, H.Sakuma et al., 「Prediction of seasonal climate-induced variations in global food production」Nature Climate Change, 21 July 2013, DOI:10.1038/NCLIMATE1945

- 13) 本郷千春「宇宙からアジアの農地を見つめる」日経サイエンス、2014 年 3 月号
- 14) 金丸秀樹、小泉達治「気候変動と食料安全保障」世界の農林水産、No.833、JAICAF p26-29
- 15) 石川洋一「データ同化によるシミュレーションと観測の統融合」：  
[https://www.jamstec.go.jp/esc/sympo2013/pdf/ishikawa\\_130912pub.pdf](https://www.jamstec.go.jp/esc/sympo2013/pdf/ishikawa_130912pub.pdf)
- 16) 「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) の構築について」：  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kaihatu/jouhou/hpci/1307375.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/jouhou/hpci/1307375.htm)
- 17) 「今後の HPCI 計画推進のあり方に関する検討ワーキンググループ中間報告」：  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shinkou/028/gaiyou/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2013/07/10/1337595\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/028/gaiyou/__icsFiles/afieldfile/2013/07/10/1337595_1.pdf)
- 18) 「平成 25 年度の我が国における地球観測の実施方針」文部科学省：  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/attach/1325008.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/attach/1325008.htm)

..... **執筆者プロフィール** .....



**野村 稔**

科学技術動向研究センター 客員研究官

企業にてコンピュータ設計用 CAD の研究開発、ハイパフォーマンス・コンピューティング領域、ユビキタス領域のビジネス開発に従事後、現職。スーパーコンピュータ、ビッグデータ、半導体技術、LSI 設計技術等の科学技術動向に興味を持つ。



**金間 大介**

科学技術動向研究センター 客員研究官

博士 (工学)。専門は産学連携と知的財産、科学技術予測、ナノテクノロジー分野の研究動向など。産学連携活動の分析や技術予測プロジェクトに従事し、中・長期的な技術トレンドと経済社会との関係に興味を持つ。