

農業利用のための SI-CAT 日本全国 1km 地域気候予測シナリオ データセット（農研機構シナリオ 2017）について

西森 基貴*・石郷岡 康史*・桑形 恒男*・滝本 貴弘*・遠藤 伸彦*

SI-CAT 1km-grid square Regional Climate Projection Scenario Dataset for Agricultural Use (NARO2017)

Motoki Nishimori*, Yasushi Ishigooka*, Tsuneo Kuwagata*, Takahiro Takimoto*, Nobuhiko Endo*

Key words: Climate change information, Grid-square climate dataset, Bias adjustment, Climate scenario for agricultural use

1. はじめに

気候変動への適応が法制化されたことで、自治体の適応計画策定が進展しており、地域詳細な気候変動予測情報がより一層、必要とされている。影響・適応研究に関しては人々の食を支える農業分野への関心が最も高く、またその注目度も、農業を基幹産業とする地方においてより強い。地域農業への影響予測のためには、予測の空間解像度が農家の一圃場であることが理想だが、全球気候モデル（GCM）の空間解像度（約110~280km 四方）の制約から、国土数値情報第2~3次メッシュに対応した東西南北およそ10km または1km の単位（メッシュ）が現実的である。農研機構農業環境変動研究センターでは影響評価研究のために、過去20年以上にわたり、GCM 出力値をメッシュ化した地域気候変動予測情報（以下、気候シナリオ）の開発に取り組んできた。農業研究で利用される湿度要素や地上風速の需要に対応した「農環研シナリオ 2015」¹⁾は、バイアス補正された月値からウェザージェネレータⁱで日値を生成したもので、数多くの農業品目における影響評価に利用された。しかしながらウェザージェネレータでは通常、得られた日単位の気候に空間的な関係は無く、単年の影響予測結果を空間的に解釈することはできない。

一般に農業分野では比較的少数の、中庸かつ日射や湿度を含む多要素のシナリオが望まれるが、防災分野では短時間の極端降水量に特化したアンサンブルシナ

リオに関するニーズが高い。ただ国レベルでの影響評価や適応策の検討に際しては、可能な限り同一に近い気候シナリオを入力した結果を俯瞰する必要がある。これら分野横断型の共通の気候シナリオは、日本における統合的な影響評価の先駆けとなった「温暖化影響総合予測プロジェクト（環境省推進費 S-4）」によって試みられ²⁾、「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究（環境省推進費 S-8）」では、実際に共通気候シナリオが配布・利用された³⁾。

このように多くの分野が共通利用し、その結果を行政担当者や市民にまで説明していくためには、気候シナリオのバイアス補正法も、いわゆるデルタ型ⁱⁱ等、平易なものとならざるを得ない。農業モデル比較・改良プロジェクト（Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project: AgMIP）や気候変動影響評価モデル相互比較国際プロジェクト（The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project: ISI-MIP）といった世界の統合的影響研究プロジェクトでも、特に初期には、このデルタ型の共通シナリオが配布されていた。しかしながら一般的に、GCM からの出力値は、日々の変動や年々変動は観測統計値に比べて小さいため、平均値補正のみでは、気候変動の影響が抽出しにくい可能性がある。

* 農研機構農業環境変動研究センター
NARO Institute for Agro-Environmental Sciences, Japan

ⁱ 対象の地点・メッシュ毎に、日値の出現頻度分布をもとに乱数を使用して、月値から日値を確率的に生成するもの。地点ごと独立に日値が生成されるため、得られた値を空間的に評価することはできない。

ⁱⁱ 例えば GCM と観測統計値の平均値の（気温）または比（降水量等、気温以外の要素）を基準気候値に上乘せする。

表1 「農研機構シナリオ 2017」の諸元 (2019年9月30日現在)

ファイルフォーマット	NetCDF4 (CF1.6 準拠)
使用した全球モデル	MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0 (今後、追加される予定)
温室効果ガス排出シナリオ	historical, RCP2.6, RCP8.5
バイアス補正手法	正規分布型スケーリング法 (Haerter et al., 2011)
計算領域と空間分解能	日本全国3次メッシュ (新座標系 [JGD2000] 1km)
計算期間と時間分解能	日値 (月値を作成中) 現在 (1981–2005), 近未来 (2006–2050), 将来 (2051–2100)
出力要素	日降水量, 日平均気温, 日最高気温, 日最低気温, 日積算日射量, 日平均相対湿度, 日平均地上風速

本研究では、農業分野をはじめとする多くの影響評価研究に利用でき、また気象要素やその複合指標の時空間解析が可能となるように、GCM 日単位の出力に準拠しかつ極端現象の再現性をも考慮して、平均値に加え分散 (標準偏差) を観測統計値に合致させた「SI-CAT 日本全国 1km 地域気候予測シナリオデータセット (農研機構シナリオ 2017)」を開発した (表 1)。ここでは、その作成方法と残された問題点、および利用上の注意について述べる。

2. メッシュ気候シナリオ作成方法と用いたデータ

2.1 対象気象要素と参照データ

本シナリオに含まれる気象要素は、気温の3要素、すなわち日平均気温、日最高気温、日最低気温のほか、日降水量、日積算日射量、日平均相対湿度 (2m 基準) および日平均地上風速 (10m 基準) である。これらの要素は、1. に記した AgMIP の共通シナリオ⁴⁾でも採用されているⁱⁱⁱように、幅広い影響評価研究をカバーするために不可欠なものである。

本気候シナリオのベースラインとして、これら7要素の「農研機構メッシュ農業データセット」⁵⁾の過去値を用いた。このデータセットは基本的に、気象庁のアメダス観測統計値の平年差を内挿して、平年値に上乘せしたものである。ただし、アメダス観測の無い相対湿度およびアメダスにおける測定高度の統一性が不十分な地上風速については、気象庁全球数値予報モデルの過去計算出力値 GPV (Grid Point Value: 格子点値)

ⁱⁱⁱ 参考文献 4) のデータセットは気温について、日最高気温と日最低気温のみを配布しており、日平均気温が必要な場合はこの両者の平均を計算して使用する必要がある。

を、気象官署観測値等を用いて補正・内挿したものである⁶⁾。現在気候としての基準期間は 1981–2000 年に設定しているが、相対湿度と地上風速は GPV 出力が利用可能な 2008–2016 年としている。

2.2 外力として用いる気候変動予測情報とダウンスケール (空間内挿) 手法

IPCC 第 5 次報告書に掲載された第 5 期結合モデル相互比較計画 (CMIP5) には、50 以上の GCM 出力が登録されているが、本気候シナリオでは、これまでの影響評価研究との連続性を考慮して MIROC5 (日本, 東京大学/NIES/JAMSTEC), MRI-CGCM3.0 (日本, 気象庁気象研究所), GFDL-CM3 (米国, NOAA 地球物理流体力学研究所) および HadGEM2-ES (英国, 気象庁ハドレーセンター) の 4 つの GCM を、環境省推進費 S-8 共通シナリオ³⁾ から引き続き選択した。前者 2 つは日本の GCM であり、後者は気温上昇幅や日本付近の気候システムの再現性から経験的に選択されている。なお本シナリオでは現在、「農環研シナリオ 2015」¹⁾でも用いられた CSIRO-Mk3-6-0 (豪州, 連邦科学産業研究機構) についても作成している。なお GCM における基準期間は参照データと同様に、CMIP5 の historical ランのうちの 1981–2000 年に設定したが、2-1. で示した「農研機構メッシュ」の制約から、相対湿度と地上風速については、年数のみ合わせた 1996–2004 年としている。

2.3 データ処理

「農研機構メッシュ」の全 380,400 メッシュ、および GCM の各グリッドについて、それぞれの基準期間における 365 日ごとの「平均値」、「年々変動に対する分散」を計算した。日単位のデータは、特に観測値では日々の変動が大きいため、平均値は気象庁⁷⁾に倣い、KZ (Kolmogorov-Zurbenko) フィルター (9 日移動平均を 3 回とる) で平滑化を行った。分散については、同様に前後 9 日間を含めたデータで計算したのち、9 日移動平均による平滑化を 2 回行った。GCM については、観測統計値に比べ日々の変動は小さい傾向にあるため、平均値と分散のウィンドウは 11 日間とし、追加の平滑化は行っていない。さらに GCM 各グリッドにおいては「線形トレンド (RCP2.6 については 2006–2050 年, RCP8.5 については 2006–2100 年)」を計算した。これも前後 9 日間を含めたデータでトレンドを求めたのち、9 日移動平均を 2 回施したものである。

2.4 バイアス補正とダウンスケール

ここで用いたバイアス補正手法は、日単位の GCM 出力値 X_{GCMraw} を、以下の式で補正值 X_{GCMadj} を導出し

たものである⁸⁾。

$$X_{GCMadj} = [\sigma(X_{OBS})/\sigma(X_{GCM})] * [X_{GCMraw} - \{X_{GCM}\}] + \langle X_{OBS} \rangle$$

$\sigma(\)$: 基準期間における年々変動の標準偏差

$\langle \ \rangle$: 基準期間における平均値

$\{ \ \}$: 要素が気温以外の場合は基準期間における平均値

要素が気温の場合は、2005年起点線形トレンドを基本とする基準線

(RCP2.6について、2050年まではその時点までの線形トレンドでその後2100年までは2050年の値で一定、RCP8.5については：～2100年線形トレンド)

つまり、GCMによる日単位の出力値 X_{GCMraw} における基準値 $\{X_{GCM}\}$ からの偏差に対し、観測統計値の標準偏差 $\sigma(X_{OBS})$ と GCM の標準偏差 $\sigma(X_{GCM})$ の比を補正係数として乗じたうえで、観測統計データの平均値 $\langle X_{OBS} \rangle$ に加えるものである。

空間的なダウンスケーリングについては、各三次メッシュに対し近隣の4つのGCMグリッド値を距離の逆数の重みづけ⁹⁾により空間内挿を行った。

3. 農研機構シナリオ 2017 の特性

3.1 気温 (日平均, 日最高, 日最低)

一般に気温の出現頻度分布は日単位でも正規分布に近く、また気温は空間代表性が大きいので、補正については、標高による気温減率を考慮すれば、比較的容易なように思われる。しかしながら、そもそも気候変動問題とは、第一義的に地上気温の上昇に起因するものであり、この昇温トレンドをどのように考えるかが、補正のポイントとなる。

本シナリオの初版 (バージョン 2.2: 2018 年配布版)

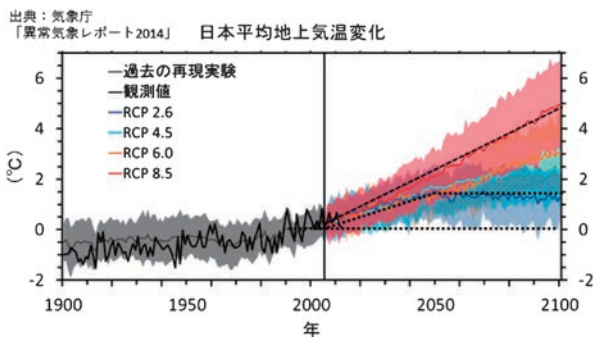


図1 CMIP5の多数のモデルによる日本の平均気温の予測結果で4つのRCPごとに予測のアンサンブル平均と気候モデルの違いによる予測幅を示している。IPCC(2013)を基にした気象庁(2014)について、筆頭著者が1981-2000年平均値、およびRCP2.6とRCP8.5についての、それぞれ線形トレンドを用いた基準線(黒点線)を追記した。

では気温について、他の気象要素と同じく基準期間の平均値に対する偏差に分散調整を行っていたが、この手法では、特に気温上昇が大きい今世紀末やRCP8.5において、異常高温が出現してしまう。そこで基準線の設定を変更し、GCMにおける一定期間の昇温量は正しいと仮定した補正を行った¹⁰⁾。つまり、昇温が比較的一定なRCP8.5では2006-2100年の線形トレンドを基準線とした。また大気中の温室効果ガス濃度とそれに伴う昇温が、ともに2050年頃までにピークを迎えるRCP2.6では2006-2050年までの線形トレンドと、それ以降は2050年の固定値を、それぞれ基準線とした(図1)。その結果、本シナリオ(バージョン2.7: 2019年配布版)における平均的な昇温量は、おおむねGCM出力と同程度に収まっている(図2)^{iv)}。

3.2 降水量

言うまでもなく気候モデルによる降水予測は難しく、その補正にも不確実性をはらむ。そのため降水量については、その平均、分散、頻度分布型および極値を対象としたさまざまな補正法が提案されているが、本シナリオでは日降水量についても他の要素と同じく、平均偏差に正規分布を仮定した分散調整を行った。しかしながら降水量には負の値がなく下限を0mmに設定するため、結果的に積算降水量は過大評価となりがちである。図3には冬季と夏季の日本域平均した近未来の変化比を示すが、冬季は用いたすべてのGCMで出力値よりも過大評価になっている。また夏季ではGCM出力で全て現在よりも増加傾向であるが、多くのモデルでは、それよりもさらに多雨傾向として評価している。

このほか本気候シナリオは、空間解像度が110~280kmのGCMから1kmメッシュに、直接的にダウンスケールしたもので不確実性が大きく、また補正量上限を設定しないため極端降水が出やすい。従って、本シナリオにおける降水量の利用は、影響モデルの構築のための試用、気温など他要素との同時利用、他の降水データセットと結果比較において許容され、本シナリオの降水量で極値を抽出した再現期間を扱うような利用法は推奨しない。

3.3 その他の農業気象要素

日射量については、農業気象分野での研究・応用例も数多くあり、また物理的・経験的な上限下限が設定

^{iv)} 補正前後の平均的な昇温量は、気候モデル・排出シナリオのほかに、年代、地域および季節により異なる。特にRCP2.6の近未来においては、2030年頃の昇温が大きい場合、基準線を上回る部分が分散調整により過大評価される場合が見受けられた。

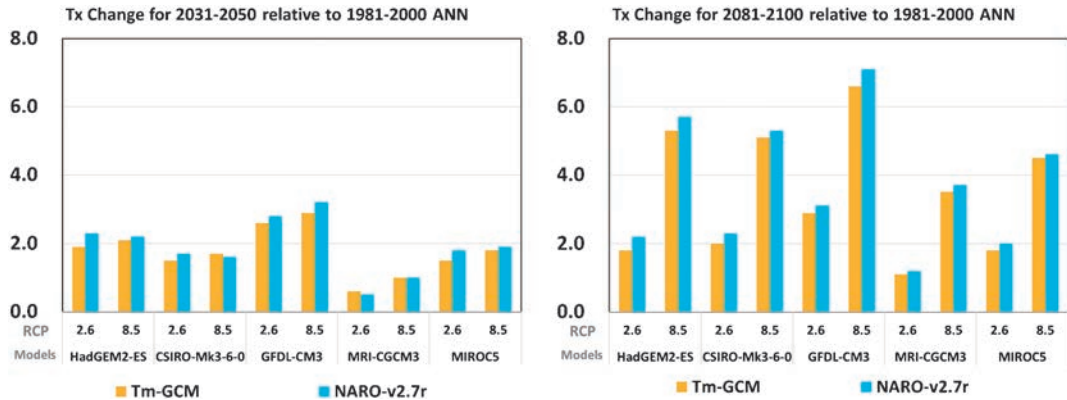


図2 RCP2.6および8.5シナリオにおける近未来(左)および今世紀末(右)の日本平均の年平均日最高気温の1981–2000年平均からの昇温量(℃)。農研機構シナリオバージョン2.7r (NARO-v2.7r: 本文3.1参照)とGCM出力値(Tm-GCM)を比較した。

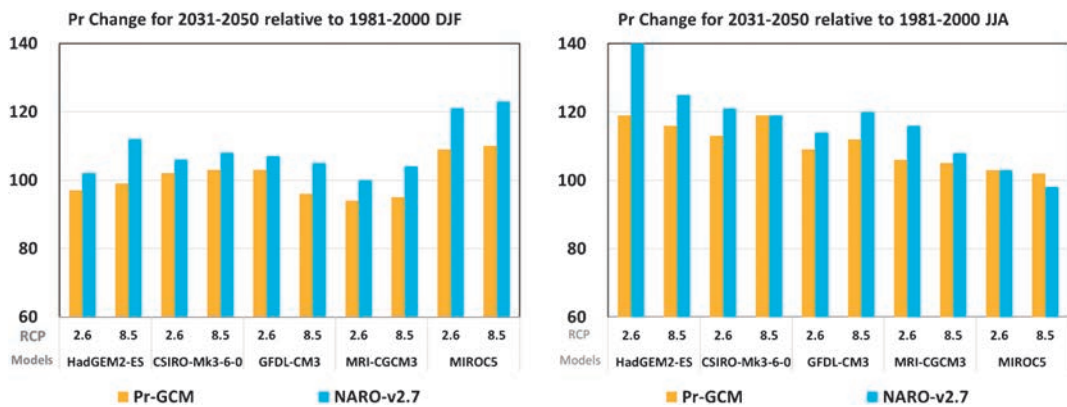


図3 RCP2.6および8.5シナリオにおける近未来の日本平均の季節別積算降水量の1981–2000年平均からの変化比(%)で(左)冬季および(右)夏季。農研機構シナリオバージョン2.7r (NARO-v2.7r: 本文3.1参照)とGCM出力値(Pr-GCM)を比較した。

できるため^v、補正結果にも一定の信頼性があると考えられるが、相対湿度と地上風速については、2. で示したように基準年数も短く、時に過少な相対湿度や地上風速ゼロの値も見られることから、利用には細心の注意が必要である。またGCMの相対湿度を、地上気温と比湿から計算しているため、その際の不確実性にも留意が必要である。

4. 気候シナリオ利用にあたる注意点

「農研機構シナリオ2017」は、これまでの分野横断型の共通的気候シナリオでは例が少ない、日射量、相対湿度および地上風速という農業気象要素を持ち、日々・年々変動の小さい気候モデル出力の分散を観測統計値に合わせることで、極端現象にも一定程度、対応可能な気候シナリオである。ただ利用に当たっては、

以下の点に注意が必要である。

まず、本気候シナリオは主として全国または広域の影響評価研究用として開発したものであり、特定地域や少数地点の抽出利用には、利用者自身で対象地点の観測統計値と比較解析することが求められる。また正規分布を仮定した分散を用いる同一のバイアス補正手法で複数要素を補正しているため、日値が正規分布に近い気温および日射量以外の要素の補正には不確実性が残る。さらに、GCMと1kmメッシュにおける地形の相違も無視できない。例えば、ベースラインの観測統計値は、気象庁アメダスが基となっており、山岳部のデータが極端に不足した状態でメッシュ化されているため、補正後も山岳部データの信頼性が判断できない。またメッシュ上では陸地であってもGCMでは海洋上の場合あり、GCMで分散が観測統計値よりも小さい場合、補正量が過大となって異常値が発生する危険が残る。これらの問題点を踏まえ今後は、その空間方向のギャップが大きいGCMから1kmメッシュへ

^v 本研究では近藤¹¹⁾による完全晴天日の全天日射量を上限、日照時間が0の曇天日の日射量を下限に、それぞれ設定している。

の直接的なダウンスケールでなく、領域気候モデル出力のバイアス補正値を空間内挿・ダウンスケールした気候シナリオ作成により重点を置くべき、と考える。

なお言うまでもなく、気候変動といっても各気象要素が毎年一定の割合でトレンド変化するわけではなく、年々の変動が大きい場合、1～数年程度のメッシュ値を抽出した評価では気候変動の影響を大きく見誤る。したがって、将来期間では20年程度を対象とし、各年の気象要素値や各種指標値および影響結果等は、その出現のパーセントイル確率を示す箱ひげ図 (box-and-whisker plot) 等で表現することが求められる。

謝辞

本研究は、文部科学省 SI-CAT のほか、農水省気候変動対応プロジェクト (A8/A11)、および環境省・農水省・国交省「地域適応コンソーシアム事業」の支援を受けた。

参 考 文 献

- 1) Y. Ishigooka, S. Fukui, T. Hasegawa, T. Kuwagata, M. Nishimori and M. Kondo: Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan, *J. Agric. Meteorol.*, 73, 156/173 (2017).
- 2) 花崎, 高橋, 肱岡: 日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・社会経済シナリオ, *環境科学会誌*, 25, 223/236 (2012).
- 3) S8 温暖化影響・適応研究チーム: 地球温暖化「日本への影響」- 新たなシナリオに基づく総合的影響予測と適応策, 44p (2014).
- 4) A. C. Ruane, R. Goldberg and J. Chryssanthacopoulos: Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation, *Agricu. For. Meteorol.*, 200, 233/248 (2015).
- 5) 大野, 佐々木, 大原, 中園: 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成, *生物と気象*, 16, 71/79 (2016).
- 6) 農研機構農業環境変動研究センター: メッシュ農業気象データ利用マニュアル Vol.4, 67p (2019).
- 7) 気象庁: 気象観測統計の解説, 126p, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/shishin/shishin_all.pdf (2019).
- 8) J. Haerter, S. Hagemann, C. Moseley, and C. Piani: Climate model bias correction and the role of timescales, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15-3, 1065/1079 (2011).
- 9) 清野: アメダスデータのメッシュ化について, *農業気象*, 48, 379/383 (1993).
- 10) S. Hempel, K. Frieler, L. Warszawski, J. Schewe, and F. Piontek: A trend-preserving bias correction - the ISI-MIP approach, *Earth Syst. Dynam.*, 4, 219/236 (2013).
- 11) 近藤, 中村, 山崎: 日射量および下向き大気放射量の推定, *天気*, 38, 41/48 (1991).