

## 気候変動による農業への影響研究

石郷岡康史

農研機構・農業環境変動研究センター

### Abstract

Heilongjiang Province is located in the northeastern part of China, and rice production in this region is sometimes affected by low temperature due to interannual climate variability. In this research subject, we attempted to construct gridded (mesh) daily meteorological data for developing an early warning system for agricultural meteorological disasters. The mesh meteorological data was created by interpolating the observed data at stations into the gridded mesh which allows us to understand the distribution characteristics of meteorological indices related to crop productivity or damages due to meteorological injuries. We had created the mesh data of whole Mainland China for several selected years and of the areas around Heilongjiang Province in the period from 1994 to 2004 continuously. Using these mesh data, some meteorological indices were calculated for areas of rice cultivated in Heilongjiang Province. The results showed that the areas having serious cold injuries in 2002 were identified clearly by the distribution characteristics of meteorological indices, which suggest that the mesh data have a potential to be the effective tool for rapidly understanding the emergence of meteorological injuries on crop production.

### 1 背景と目的

2004 年度から 2008 年度にかけて実施された第 2 期プロジェクト研究「中国食料の生産と市場の変動に対応する安定供給システムの開発」(中国食料変動)は、農業災害早期警戒システムと農村経済安定化のための施策の構築を通して、中国の内陸部・東北部を中心に多発する農業気象災害の克服を主目的としたものである。この中で我々が担当した課題は「メッシュ気候・気象値を用いた農業気象災害評価手法の開発」であり、早期警戒システム構築のための基礎となる気象情報の整備を目的としたものである。

本課題で主に対象とした黒龍江省は中国の最北に位置し、面積は 45 万 4 千 km<sup>2</sup> と日本国土の約 1.2 倍であり、広大な農耕地を有する中国でも有数の穀倉地帯である。気候は典型的な大陸性モンスーン気候であり、年間 400～600mm 程度の降水の大半は夏季(6 月～8 月)に集中する。また、高緯度の割には夏季に気温が比較的高く、日射量も多いという気候的特性の下で、近年水稻栽培が大規模に展開し、生産量は飛躍的に増加している。しかしながら、黒龍江省は気候的に稲作の北限地域であることには変わりなく、気温が水稻生産における主要な制限要因となっている。そのため、水稻生産は年々の気温の変動により大きく影響され、深刻な冷害による減収や品質低下が度々発生している。

黒龍江省の水田は、嫩江および松花江流域の低地に広く分布し、北限は黒河(北緯 50 度)付近である。広範囲に分布するため地域により差異はあるが、移植は概ね 5 月中旬から 6 月初旬に、収穫は 9 月末に行われる。しかし、生育期間前半(栄養生長期)に低温状態が

継続すれば、発育が遅れて登熟期間が秋の低温期にかかり、登熟に支障をきたす可能性が高くなる（遅延型冷害）。また、出穂期前の危険期（幼穂形成期から開花期）に最低気温が20℃を下回ると生殖障害を起こし、不稔となる可能性が高くなる（障害型冷害）。黒龍江省のイネの生育と収量を推定するイネ生育モデルでは、この低温による収量減少を推定するモジュールが重要なポイントとなる。

近年、黒龍江省においても気温の上昇傾向が認められ、水稻生産における冷害のリスクは軽減しているとの見方もあるが、気温の年々変動が大きくなっていることにより障害型冷害はむしろ増加傾向にあるとの報告もある。また冷害発生状況は地域により異なり、近年の変動する気候条件下で、どの地域でどの程度の規模の冷害が認められたかを定量的に評価するためには、適切な時空間解像度を持つ均質かつ高精度の気象情報が必要不可欠である。メッシュ気象値は、領域を緯度経度に沿った網の目（メッシュ）に区分し、それらの区域ごとに表される気温や降水量等の気象データであり、点在する気象観測所において実測されたデータを、地形などの地理情報を考慮の上、空間補間して作成される。これにより、観測点の無い任意地点の気象値が得られるだけでなく、時間的空間的に均質な気象情報が得られ、水稻生育に関する種々のインデックスの空間分布特性を明確に表すことが可能となる。

本課題では、公開されている月別メッシュ気候値（平年値）と、日別の地上気象観測データを組み合わせ、対象とする黒龍江省を含めた中国全土の日別メッシュ気象データを作成した。次にそれを利用し、黒龍江省における水稻収量に関する典型年として、1997年（平年；6.16t/ha）、2001年（豊作年；6.44t/ha）、2002年（凶作年；5.86t/ha）について、各年の気象値の分布特性と、黒龍江省水稻生産および冷害発生状況の関係について考察した。なお、本課題は、日本側の農業環境技術研究所（現農研機構・農業環境変動研究センター）と、中国側の中国農業科学院および黒龍江省農業科学院の協力の下に実施した。

課題実施担当：

鳥谷均・石郷岡康史（農業環境技術研究所）

許吟隆（中国農業科学院）

矯江・許顕濱（黒龍江省農業科学院）

## 2 方法と手順

本プロジェクトにおける担当課題では、先ず冷害発生状況の空間的特徴把握に必要不可欠な、日別メッシュ気象値の作成を実施した。作成した気象値は、日平均、最高、最低気温、日総降水量、日積算日射量であり、対象領域は中国全土、空間解像度は0.1度（約10km）である。空間補間には、Moving Least Squares（MLS）法を使用した。実測データは、中国農業科学院持続発展研究所（以下、持続研）が保有する、中国気象局による中国国内の観測データ、およびインターネットを介して入手できる中国周辺地域の観測点（WMO Resolution40; NCDC Global Summary of Day, NOAA）における日別データを使用した。中国気象局データの中には、中国全土約700地点の1950年以降のデータが含まれている。但し、日射量を実測している地点は約100地点と少なく、また品質に問題があると考えられたため、日照時間（日照時間から全地点で測定されている）から日射量を推定する手法を開発し、これを使用して推定された日射量を空間補間した。WMOデータには、日照時間

が含まれていないため、日射量推定には使用していない。なお、開発したメッシュ気象値作成アルゴリズムは、早期警戒システムに組み込まれており、こちらは準リアルタイムで入手可能な WMO データのみを使用している。なお、この中国全土のメッシュ気象値の作成は、中国農業科学院が担当した。

上記の中国全土を対象としたメッシュデータは、領域が極めて広範囲であり長期間における日別値を作成するには多大な計算時間と大容量のストレージが必要となるため、今回は黒龍江省のみを対象としたサブ領域を別途設定し、黒龍江省解析用のメッシュ気象データを準備した。対象範囲は、黒龍江省全域を含む緯度  $43^{\circ}\text{N}$  -  $54^{\circ}\text{N}$ 、経度  $120^{\circ}\text{E}$  -  $136^{\circ}\text{E}$  とし、空間解像度は  $5' \times 5'$  (約  $8\text{km} \times 8\text{km}$ ) とした。作成対象要素は気温および日射量とし、

気温については日平均・最高・最低値、日射量については日積算値を作成した。その際、対象領域の長期、高密度の気象データセットを準備することを目的とし、メッシュ気象値作成アルゴリズムは、計算負荷が比較的小さい距離逆数重み付け平年差(比)法(清野, 1993)を使用した。このアルゴリズムでは、対象メッシュの日別平年値に、メッシュ周辺の観測地点における日別実況値と平年値から算定される平年差(比)を加算することで、日別メッシュ気象値を算定する。そのため、地上気象観測点における日別実況値と併せて、対象領域のメッシュ日別平年値が必要となる。ここでは、全球  $10' \times 10'$  (約  $17\text{km} \times 17\text{km}$ ) で作成されているメッシュ気候値である Climate Research Unit dataset version CL2.0 (CRU-CL2.0; New et al. 2002) を使用し、同データから対象領域を切り出し、空間解像度を  $5' \times 5'$  にダウン

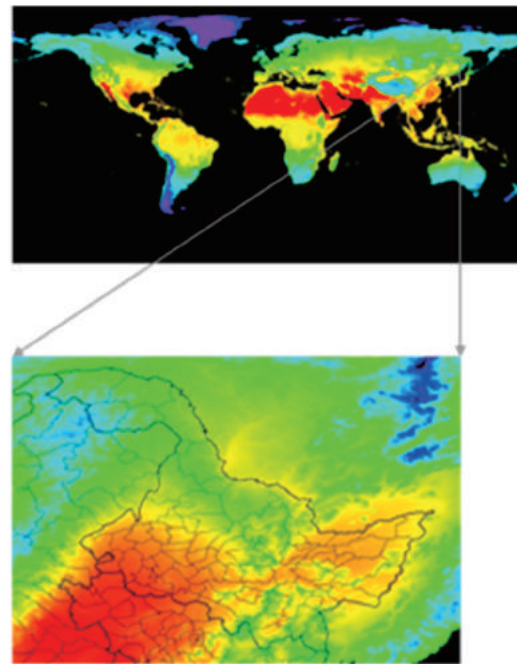


図 1 CRU 全球平年値から抽出した黒龍江省周辺領域の年平均気温平年値

ンスケールしたものを使用した(図 1)。このデータは月別値であるため、3 次スプライン補間により各メッシュの日別平年値を作成した。なお、この黒龍江省周辺のメッシュ気象値の作成は、中国農業科学院、黒龍江省農業科学院の協力の下、農業環境技術研究所(現農研機構・農業環境変動研究センター)において実施した。

### 3 結果と考察

本課題において、上記の日別実測データから中国全土の 0.1 度空間解像度の日別メッシュ気象値を計算するためのシステムを構築した。その結果、1950 年以降の各年日別メッシュ気象値の出力が可能となり、本プロジェクト期間中においては、1997、2001、2002 年の各年および 1971～2000 年の平年日別メッシュ気象値を整備した。例として、平年日別メッシュ（日平均気温）を使用した、有効積算温度（ $\Sigma T_m$ ; if  $T_m \geq 10^\circ\text{C}$ ）の分布を図 2 に示す。空白域は、有効積算温度が  $2200^\circ\text{C}$  日未満であり水稻の栽培に必要な温度資源が不足する地域である。逆に、着色された地域が温度条件のみによる水稻栽培可能地域である（今回は水の制限は考慮していない）。北限は黒龍江省の北緯 50 度付近と検出され、実際的水稻栽培の北限（黒河付近）とほぼ一致することが分かる。

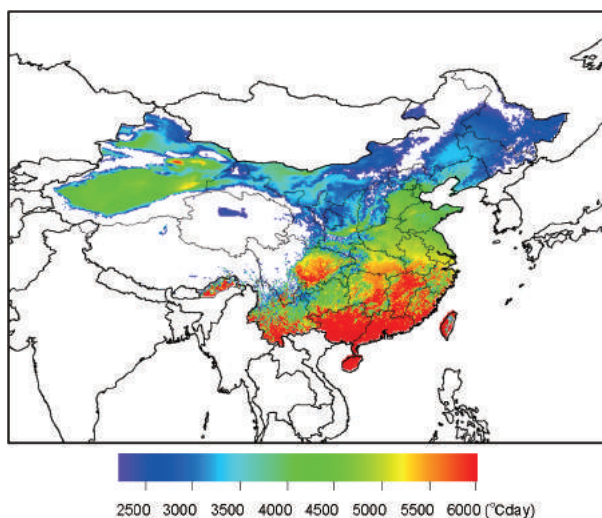


図 2 平年日別メッシュデータから計算した有効積算温度 ( $T_m \geq 10^\circ\text{C}$ ) の分布

次に、1997、2001、2002 年の 6～8 月（黒龍江省的水稻栽培における主要な生育期間）の平均気温の、平年に対する偏差の分布を図 3 に示す。1997 年は、華北から東北、内蒙古にかけて高く、華中から華南にかけての一部で低い。黒龍江省は南部ほど高くなっている。2001 年は、東北から新疆にかけて帯状に高い領域が広く分布し、黒龍江省は西ほど高い。2002 年は、内蒙古から西北にかけて高い領域が広がり、東北の東部に低い領域が認められる。この年は黒龍江省で深刻な冷害が発生しており、省の大部分は低くなっている。但し、低い領域はこの地域のみであり、全国的には高い領域が多いことが特徴である。

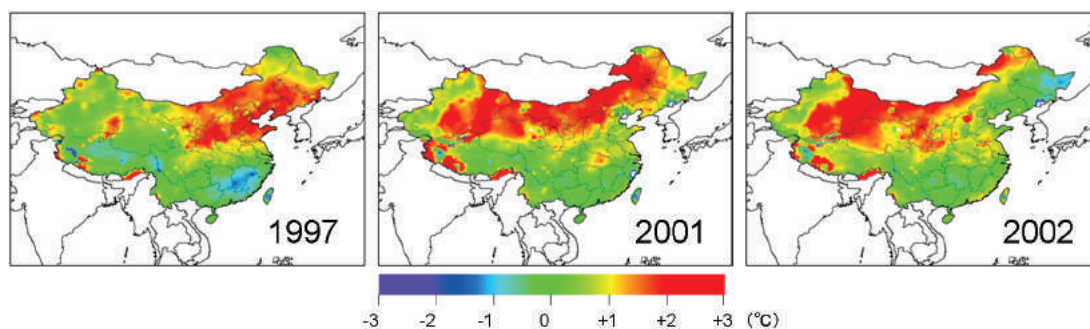


図 3 各年 6～8 月の平均気温の平年に対する偏差(左:1997 年、中:2001 年、右:2002 年)

黒龍江省周辺領域を対象に作成したサブ領域メッシュデータを使用し、各年における水稻生育に関わる指標の分布特性を調べた。図4に、遅延型冷害発生を目安となる、出穂後40日間の積算気温（日平均気温を出穂日から40日間積算した値）の分布を示す。ここで、出穂日は各年全地域で8月5日と仮定した。図で白色のグリッドは水田が存在しないグリッドであり、これは同テーマの他の実施課題（衛星データを用いた農業生産量変動モニタリング技術の開発）で得られた成果の一部である水田分布図を使用し、水田以外の地域をマスクしたものである。収量が低い2002年では、積算気温が750℃日以下の領域が中央部から東部三江平原に広く分布するのに対して、収量が高い2001年では積算気温が750℃以上の領域が、ほぼ黒龍江省全域に広がっていることがわかる。すなわち、2002年では、低温のために登熟が遅れることにより十分に成熟する前に温度が低下し、これにより収量の低下を招いた可能性の高い地域が中央部から東部に広がったことが推定される。また、2002年は生育期間を通して低温傾向で推移したため、ここで仮定した8月5日より出穂が遅くなっている可能性もある。

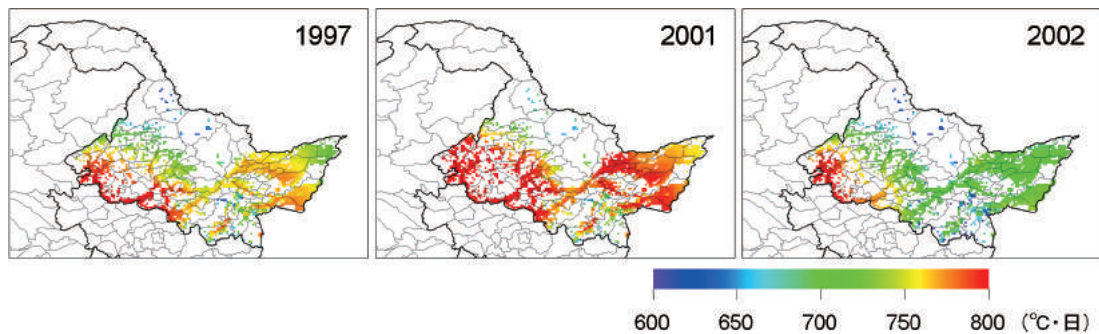


図4 遅延型冷害発生を目安となる、出穂日（8月5日と仮定）以後40日間の積算気温の分布（左：1997年、中：2001年、右：2002年）

図5に、障害型冷害発生を目安となる、出穂前危険期における日平均気温20℃を基準とした冷却量の分布を示す。冷却量は、日気温が20℃以下となる日の20℃からの差を積算した値であり、開花期の限界低温である20℃以下にどれだけ曝されたかを示す指標である。この値が大きいほど出穂前危険期に生殖障害の原因となるような低温に曝された時間が長いことを意味している。ここでは、出穂前危険期は平年の生育状況から7月20日から29日の10日間と仮定した。収量が低い2002年では、中央部から東部にかけて冷却量の大きい領域が認められる。この地域の水稲は、20℃以下の低温に長く曝されたことにより生殖障害が起こり不稔となった可能性が高く、収量の低下の一因となったと推察される。

図6は、出穂日（8月5日と仮定）以後40日間における日射量の積算値の分布を示したものである。出穂後の登熟期間における日射量は、光合成を通じて収量形成の原動力となることから、日射量の積算値が小さい地域では、稔実した籾に充填される炭水化物形成が少ないことが推定される。2002年については、中央部から東部にかけて、日射量の少ない領域が広範囲に広がっている。そのため、登熟期間における低日射により子実充実不足となったことが、同年の低収量の一因となったと推察される。一方、多収であった2001年については、全域において他の年次と比較して日射量が顕著に多いことがわかる。

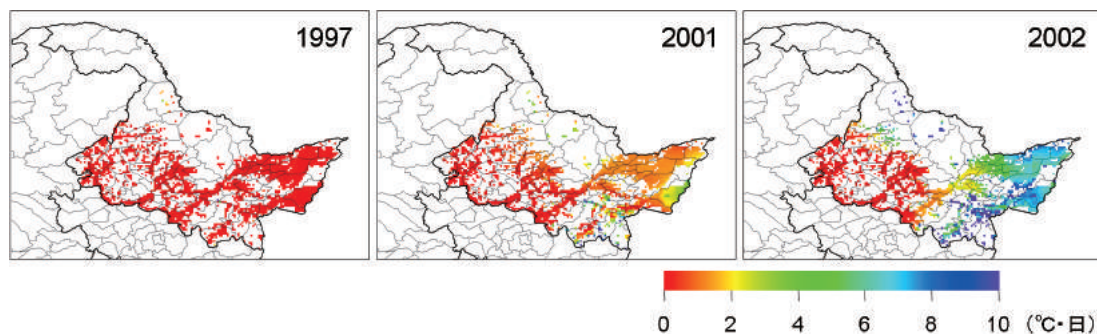


図5 障害型冷害発生の目安となる、危険期（7月20～29日と仮定）における日平均気温20℃以下の冷却量の分布（左：1997年、中：2001年、右：2002年）

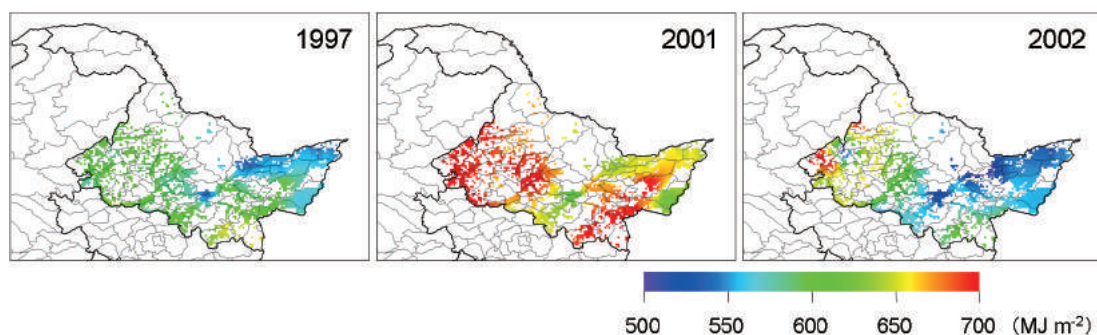


図6 出穂日（8月5日と仮定）以後40日間の積算日射量の分布（左：1997年、中：2001年、右：2002年）

#### 4 まとめ

課題実施担当機関である黒龍江省農業科学院耕作栽培研究所の調査結果から、2002年の収量低下は遅延型冷害と障害型冷害がともに発生し、また日照不足によることが原因であることが明らかになっている。また、被害が大きかった地域は東部三江平原であり、図4の積算気温が低い地域、図5の20℃以下の低温に曝された時間が長い地域、図6の日射量が小さい地域と一致している。このことから、上記のようなメッシュ気候・気象値を用いた解析は、これらの調査結果に定量的な傍証を与え、生育のモデル化に有益な情報を与えることが期待される。

#### 参考文献

- 1 New, M., D. Lister, M. Hulme and I. Makin, 2002. A High-Resolution Data Set of Surface Climate over Global Land Areas, *Clim. Res.*, 22: 99-113.
- 2 Seino, H, 1993. An Estimation of Distribution of Meteorological Elements using GIS and AMeDAS Data, *J. Agric. Meteorol.*, 48(4): 379-383.