

中国東北部の寒冷地帯における稲作拡大の要因解析

第2報 北東アジア気象データベースと GHCN データを用いた温暖化解析

山崎俊成¹・山本晴彦¹・王 秀峰²・高山 成³

¹山口大学 大学院 創成科学研究科, ²北海道大学 農学研究院, ³大阪工業大学 工学部

1. はじめに

地球温暖化がもたらす影響として、気温・降水量・海面水位などの変化により水資源や農作物への深刻な影響が生じると考えられている。文部科学省などが翻訳・作成した「気候変動に関する政府間パネル第4次評価報告書(IPCC AR4)」によると、1999年までの世界平均気温において気温上昇に伴う穀物生産性への影響は、1~3℃の上昇で低緯度地域は低下傾向、中高緯度地域はいくつかの作物で増加傾向を示し、それ以上の気温上昇は低緯度全域と高緯度の一部で生産性の低下が現れるとしている¹⁾。日本の穀物生産においては、横沢ほか²⁾、清野³⁾、Iizumi et al.⁴⁾などがイネの収量を評価しており、気温上昇に伴い北海道・東北地域では増加し、それ以外の地域では減少するというシミュレート結果が報告されている。中国の穀物生産、特に北海道以北の緯度帯(北緯 45°~50°)に相当する中国東北部の黒龍江省は水稻の産地であり、1980年代以降の稲作技術の進歩や1990年以降のジャポニカ種の生産拡大により、作付面積と単収が増加している⁵⁾⁶⁾。

本研究では、寒冷地帯である中国東北部において稲作が拡大した要因の一つを温暖化として捉え、過去の気象記録から約100年に及ぶ連続データを作成し、気温変動解析と検証を行った。

2. 中国東北部の稲作地帯について

図1に黒龍江省周辺と日本の位置図を示す。黒龍江省は総面積45.4万km²(日本の約1.2倍)、省都は哈爾濱(ハルビン)市、省内に黒龍江・松花江・ウスリ江の三大河が流れ、コメの産地として北東部に三江平原、西部に松嫩平原が広がっている。北・東部はアムール川を境界としてロシアに面しており、気候区分は寒暖差の激しい大陸性亜寒帯である⁵⁾。

水稻の作付面積は2009年

時点で246万haであり、日本の水田面積の1.7倍(147万ha, 2016年⁷⁾)となっている。水稻の作付面積は1980年の約20万haから12.5倍に、単収は3.8t/haから6.2t/ha(1.6倍)と、とりわけ作付面積においては類を見ない拡大を果たしている。

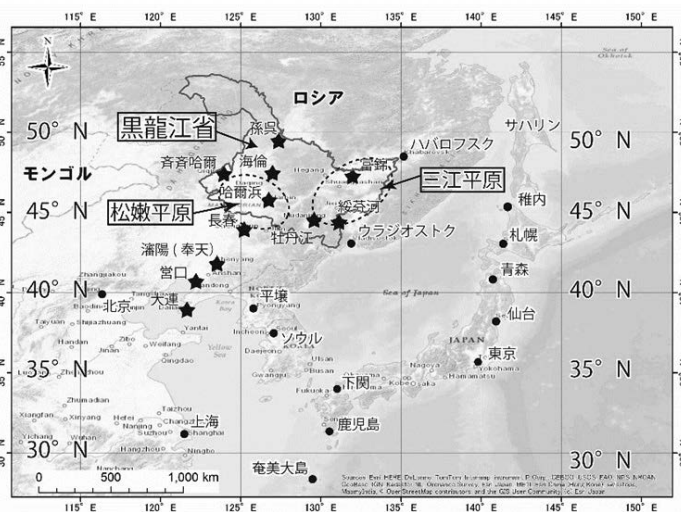


図1 中国東北部と日本の位置関係(★は解析地点を示す)

3. 使用する気温データ

3.1. 北東アジア気象データベース

当データベースは、紙媒体の気象記録を山本⁸⁾がデータベース化したもので、日露戦争に勝利した日本が「満州・関東州(中国東北部)、朝鮮、樺太(サハリン)」の3つの地域において設置した観測所の気象データが収録されている。本解析の対象地域である中国東北部は、月データ・日データの収録地点を含めて全48ヶ所あり、収録期間の長さや稲作地帯における変動解析等の観点から、日データが存在する11地点を解析の対象とした。解析に使用可能な期間は地点により異なるが、欠測やデータの収録が無い期間を含めて最長で1906年～1943年の37年間である。地点毎の日の平均気温・最高気温・最低気温の3要素を、後述するGHCNデータと接続することで解析を行った。

3.2. GHCN (Global Historical Climatology Network)

GHCNとは、海洋と大気に関する調査と研究を専門とするNOAA/NCDC(米国海洋大気庁気候データセンター)が公開している統合気象データベースであり、世界中の観測局からの気象データをアーカイブ化している。地点毎に気象要素や収録期間が異なり、本解析で使用したGHCN-Daily⁹⁾データには、日々の気温や降水量を始め、積雪深、風向・風速、土壌温度等のデータが圧縮ファイルに格納されている。ここで、中国東北部の日の平均気温・最高気温・最低気温を地点毎にダウンロード・抽出し、地点名と位置情報から北東アジア気象データベースの11地点のデータと接続を行った。収録期間は概ね1951年～2016年までであるが、2013年以降についてはデータの未収録日が非常に多いため、2012年までのデータを解析に用いることとした。

表1に解析地点一覧と各観測所における年平均気温と極値を示す。各地点は図1の★の地点名と対応している。

表1 解析地点一覧と各観測所における年平均気温と極値

地点情報					年平均値 ^{※1}	気温の極値と観測日(データ開始～2012)				データ使用期間 ^{※2}	
漢字表記	英表記	緯度(°)	経度(°)	標高(m)	年平均気温(°C)	日最高気温(°C)	観測日	日最低気温(°C)	観測日	北東アジア(年)	GHCN-D(年)
孫吳	SUNWU	49.4	127.4	235	0.3	38.7	2010/06/24	-48.1	1980/01/13	1935~1943	1954~2012
海倫	HAILUN	47.4	127.0	240	2.6	38.0	2001/06/25	-40.8	1937/12/26	1934~1937	1952~2012
齊齊哈爾	QIQIHAR	47.4	123.9	148	4.5	40.8	2001/06/25	-39.5	1951/01/08	1932~1943	1951~2012
富錦	FUJIN	47.2	132.0	65	3.4	38.9	2000/07/10	-40.1	1940/01/18	1935~1943	1952~2012
哈爾濱	HARBIN	45.8	126.8	143	4.9	39.6	1942/06/21	-38.1	1970/01/04	1932~1943	1951~2012
牡丹江	MUDANJIANG	44.6	129.6	242	4.8	38.4	1997/07/24	-38.3	1963/01/03	1935~1943	1951~2012
綏芬河	SUIFENHE	44.4	131.2	498	3.2	36.5	1952/07/19	-37.5	1970/01/03	1935~1943	1952~2012
長春	CHANGCHUN	43.9	125.2	238	6.2	39.5	1922/06/22	-36.5	1970/01/04	1909~1943	1951~2012
瀋陽	SHENYANG	41.7	123.5	43	8.6	39.3	1920/06/30	-32.9	2001/01/15	1906~1943	1951~2012
營口	YINGKOU	40.7	122.2	4	9.9	36.9	1919/08/05	-31.0	1920/02/10	1906~1943	1951~2012
大連	DALIAN	38.9	121.6	97	11.3	36.5	1932/09/04	-21.1	1970/01/04	1906~1937	1951~2012

※1 30年間(1981～2010年)の日平均気温を平均した値

※2 欠測・データ無しの期間を含む、1944～1950年は全ての地点でデータ無し

4. 解析方法

4.1. 稲作期間における気温変動

表2に黒龍江省南部における水稲生産の平均的な生育ステージを示す。実際の各ステージは、品種毎の日平均気温の積算温度により推定され、例えば早生品種で黒龍江省のシェア1位(約40%)である「空育131」の成熟までの積算気温は2,320°Cとされている¹⁰⁾。ここでは水稲の水田における生育期間である5月～10月の、期間内の

表2 黒龍江省南部における水稲生育ステージ¹⁰⁾

ステージ	早生	中稲	晩稲
播種・育苗	4月12日	4月11日	4月9日
移植	5月20日	5月20日	5月9日
出穂	7月23日	7月28日	8月1日
成熟	9月15日	9月17日	9月20日
収穫期	9月22日	9月28日	9月28日
	～9月24日	～10月13日	～10月13日

日平均気温を年毎に平均し、グラフ化することでトレンド解析を行った。また、緯度間における気温変動の差異を見るため、大連・營口・瀋陽・長春・哈爾濱・齊齊哈爾・孫吳の7地点を比較した。

4.2. 温暖化による冷害リスクの変化

水稻の冷害には、栄養生長期の低温・寡照により登熟障害が発生する「遅延型冷害」と、生殖生長期の一時的な異常低温が原因となる「障害型冷害」、二つの冷害が併発する「混合型冷害」が挙げられる¹¹⁾。ここでは、低温感受性の高い生育ステージである穂ばらみ期(出穂日の7~11日前)にあたる7月1日~7月20日の低温出現日数を年毎に検出し、障害型冷害の発生におけるトレンド解析を行った。冷害が発生し得る気温は品種やその他の生育環境により異なるが、過去の研究事例¹¹⁾¹²⁾を参考に閾値を日最低気温16℃と設定し、解析地点は長春・綏芬河・牡丹江・哈爾濱・富錦・齊齊哈爾・海倫・孫吳の8地点とした。

5. 結果と考察

5.1. 稲作期間における気温変動

表3に稲作期間に相当する5~10月(6ヶ月)平均気温の10年毎の平均値、図2に大連・長春・孫吳における5~10月の平均気温の年変動を示した。いずれの地点でも、1960年台までほぼ一定もしくは寒冷化の傾向が見られるが、1970年代から現在までに大連から長春(北緯39°~44°)では約1.0℃、哈爾濱から孫吳(北緯45°~50°)では約1.3℃と、北進するにつれて平均気温の上昇が確認できる(表3)。また、水稻栽培の北限とされる北緯50°に近い孫吳では、緯度差10°の大連や緯度差5°でほぼ標高の等しい長春と比較すると、年毎の生育期間の気温較差が大きいことが確認でき、高緯度ほど冷害リスクは依然大きいことが示唆された。一方で、稲作の技術進歩が始まった1980年代と比較して、稲作期間である5月1日~10月31日(184日間)における日平均気温の平均値、つまり稲作期間における温度資源は積算気温にして100℃以上増加していることが分かり、温暖化現象により稲作に適した地域へ変化していることが示唆された。また、この気温上昇は低温による登熟障害のリスクも低減させることが考えられ、4.2で記した遅延型冷害のリスクの減少にも寄与していることが示唆された。

5.2. 温暖化による冷害リスクの変動

表4に、7月1日~7月20日における日最低気温16℃未満の出現日数(10年毎の平均値)、図3に牡丹江・哈爾濱・富錦・孫吳の出現日数をグラフに示した。ここでは、5.1において1970年以降の気温上昇傾向が大きいことが明らかになったため、1951年以降のデータにおける結果を示した。表4と図3から、1970年

表3 中国東北部における5~10月
平均気温の10年毎の平均値

地点名	大連	營口	瀋陽	長春	哈爾濱	齊齊哈爾	孫吳
北緯(°)	38.9	40.7	41.7	43.9	45.8	47.4	49.4
標高(m)	97	4	43	238	143	148	235
1911~20年	19.6	19.1	18.5	16.6			
1921~30年	19.4	19.4	18.8	17.1			
1931~40年	19.5	19.7	19.0	17.3	16.7	15.7	
1941~50年							
1951~60年	19.1	19.2	18.6	16.5	16.2	15.7	12.5
1961~70年	19.2	19.6	19.0	17.0	16.4	16.1	12.9
1971~80年	19.2	19.3	18.7	16.7	16.2	16.2	13.4
1981~90年	19.6	19.7	19.2	17.1	16.4	16.3	13.8
1991~00年	20.2	20.0	19.2	17.6	17.1	17.0	14.0
2001~10年	20.3	20.3	19.5	18.2	17.8	17.5	15.2

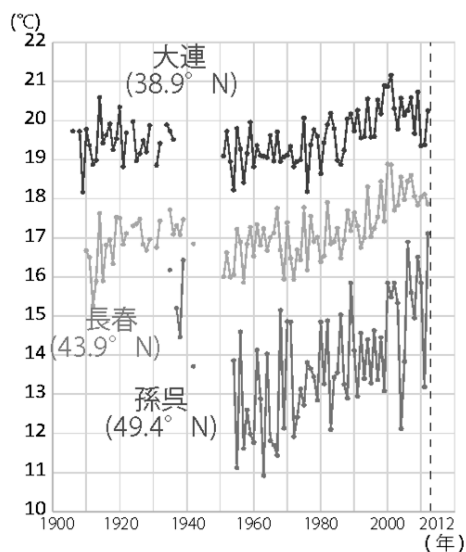


図2 大連・長春・孫吳における
5~10月平均気温の推移

表4 7月1日~7月20日における日最低気温
16℃未満の出現日数(10年毎の平均値)

地点名	長春	綏芬河	牡丹江	哈爾濱	富錦	齊齊哈爾	海倫	孫吳
北緯(°)	43.9	44.4	44.6	45.8	47.2	47.4	47.4	49.4
標高(m)	238	498	242	143	65	148	240	235
1951~60年	3.4	16.3	9.3	3.6	7.9	3.4	8.1	16.9
1961~70年	4.7	16.7	9.7	4.6	8.4	4.8	8.2	17.5
1971~80年	3.5	17.2	7.4	3.5	6.1	6.3	8.3	17.1
1981~90年	4.0	17.4	7.7	5.9	6.0	4.3	8.9	16.4
1991~00年	2.2	14.6	4.3	3.6	3.4	2.1	5.1	12.6
2001~10年	1.9	14.6	4.0	1.1	5.6	1.8	3.8	12.0

代からの出現日数が、富錦を除く地点で2~5日間程度減少していることが示され、先程の結果と同様に、高緯度な地域ほどその傾向が大きいことが示された。このことは、穂ばらみ期における低温日数が減少していることを意味し、収量の減少に大きく影響する障害型冷害のリスクの低減に温暖化現象が寄与していることが示唆された。

以上の結果から、高緯度に位置する中国東北部の黒龍江省においては、温暖化現象が稲作に適した気象環境の形成をもたらし、稲作の技術進歩と複合的に作用することでコメの増収を促進し、稲作拡大の要因になったものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、稲作期間における平均気温の上昇による温度資源の増加、穂ばらみ期の低温出現日数の減少に注目し、冷害リスクの変動について解析を行った。この結果は、気温変動による温度資源の変化にのみ注目し、表2に示した平均的な生育ステージの出穂日をもとに穂ばらみ期を決定し解析を試みたが、実際の出穂日は年毎の積算気温やその他の環境要因により異なるものと考えられた。また、穂ばらみ期以外の冷温感受性が高いステージも存在するため、推定された出穂日と気温データ、実際の収量記録と照らし合わせることでより詳細な冷害リスクの検証が可能になると考えられる。

謝辞

本研究は、科学研究費助成金 基盤研究(B)「中国東北部の冷帯稲作地帯における気象・水資源の100年変動に基づく生産リスク予測(代表者：山本晴彦)」により行った。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省・気象庁・環境省・経済産業省,2007: 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 評価報告書 気候変動 2007: 統合報告書 政策決定者向け要約,22p (http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr_spm.pdf(平成 29 年 2 月 1 日閲覧))
- 2) 横沢正幸・飯泉仁之直・岡田将誌,2009: 気候変化がわが国におけるコメ収量変動に及ぼす影響の広域評価. 地球環境, 14(2), 199-206.
- 3) 清野 裕,1995: 気候温暖化が我が国の穀物生産に及ぼす影響. 農業気象, 51(2), 131-138.
- 4) Iizumi, T., Hayashi, Y., and Kinura, F., 2007: Influence on rice production in Japan from cool and hot summers after global warming. *J. Agric. Meteorol.*, **63**(1), 11-23.
- 5) 銭 小平(著, 原著), 2011: 中国農業のゆくえ—JIRCAS の中国農業・社会経済調査研究. 農林統計協会, 277p
- 6) 村田 武 (監修)・福岡県稲作経営者協議会(編集), 2001: 中国黒龍江省のコメ輸出戦略—中国の WTO 加盟のもとで. 家の光協会, 196p
- 7) 農林水産省,2017: 作況調査「平成 28 年産水陸稲の収穫量」(http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/attach/pdf/index-8.pdf)
- 8) 山本晴彦・王 秀峰・張 継権・劉 玲・全 炳徳・李 定澤,2015: 北東アジア気象データベース(<http://yamaharu-nds.jp/neamdb/>)
- 9) Menne, M.J., I. Durre, R.S. Vose, B.E. Gleason, and T.G. Houston, 2012: An overview of the Global Historical Climatology Network-Daily Database. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 29, 897-910. doi:10.1175/JTECH-D-11-00103.1.
- 10) 中本和夫・李寧輝・矯江,2007:黒龍江水稻生産と風險経営. 中国農業科学技術出版社, 227p
- 11) 坪井八十二,1990: 農業気象学. 養賢堂, 283p
- 12) 矯江・中本和夫・李寧輝,2009:黒龍江水稻生産低温冷害研究進展. 中国農業科学技術出版社, 233p

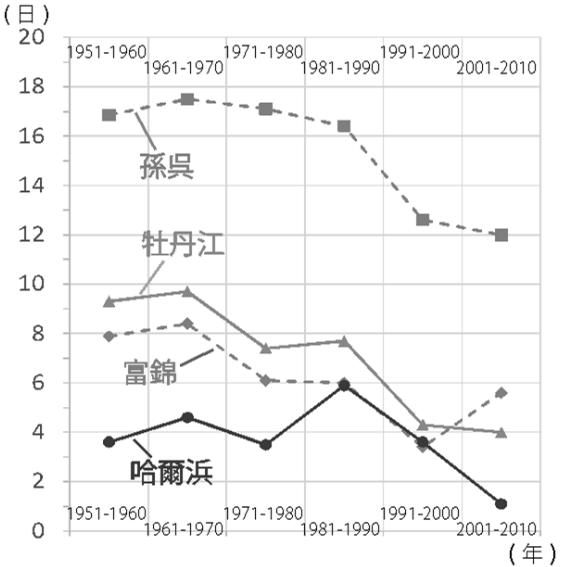


図3 7月1日～7月20日における日最低気温16℃未満の出現日数の推移(10年毎の平均値)