

中国東北部の寒冷地帯における稲作拡大の要因解析

第3報 温暖化による稲作期拡大および冷害リスク低減への影響評価

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

地球温暖化は気温・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、中国東北部の黒龍江省が位置する高緯度地域ではいくつかの作物で増加傾向を示すとされている¹⁾。横沢ほか²⁾、清野³⁾、Iizumi et al.⁴⁾などが日本国内のイネの収量を評価しており、黒龍江省と同緯度域に位置する北海道では、気温上昇に伴い収量が増加するというシミュレート結果を報告している。黒龍江省は、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寒冷地水稻の産地となり、作付面積と単収が増加している⁵⁾。

上記のことを踏まえ、第2報⁷⁾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、稲作期間における平均気温の上昇と、穂ばらみ期の低温出現日数の減少について、中国東北部に位置する数地点でトレンド解析を行った。本報告では、黒龍江省全域を網羅するために観測地点を追加し、GISによる面的な解析を行うことでより詳細な気温の変化を明らかにした。またMann-Kendall検定により、統計的に有意な変化が生じているかについて検証した。

2. 中国黒龍江省の地形的特徴と稲作概要

図1に黒龍江省の行政区画と稲作が盛んな松嫩平原、三江平原の位置を示す。省内には黒龍江(アムル川)・松花江・ウスリ川の三大河が流れ、北部・東部は黒龍江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⁸⁾。表1に2014年における黒龍江省の行政区画毎の面積と水稻収量について示した⁹⁾。水稻の総作付面積は2014年時点で約237万haであり、日本の水田面積の



図1 中国黒龍江省の行政区画と松嫩・三江平原の位置

(○は解析地点を示す)

1.6倍(147万ha, 2016年⁹⁾)となっている。また行政区画毎に見ると、水田面積・水稻収量ともに省西部の松嫩平原に位置する哈爾濱市が第1位であるが、水田の対総面積比・10a収量では省東部の三江平原に位置する佳木斯市が第1位となっており、対総面積比から判断すると佳木斯市、哈爾濱市、綏化市の順に稲作が盛んであることが推察できる。

3. 使用する気温データ

第2報⁷⁾に引き続き、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 GHCN(Global Historical Climatology Network)¹⁰⁾に収録された日気温データを用いた。解析対象を黒龍江省内の14地点と内蒙古自治区・吉林省・ロシアの20地点、計34地点の日気温データを用い、

表1 中国黒龍江省における各行政区の面積と水稲収量

(2014年、背景色の濃淡は各項目の上位1位から3位までを表す)⁷⁾

行政区名	総面積 (千ha)	農地			対総面積比百分率(%)			水稲収量 (千t)	10a収量 (kg/10a)
		農地以外 A(千ha)	農地 B(千ha)	水田 C(千ha)	農地以外	農地	水田		
大興安嶺地区 Daxinganling	8,460	8,282	178	0	97.9	2.1	0.0	0	0.0
黒河市 Heihe	6,680	5,448	1,232	25	81.6	18.1	0.4	155	616.0
齊齊哈爾市 Qiqihar	4,221	1,926	2,294	321	45.6	46.8	7.6	1,489	464.5
大慶市 Daqing	2,122	1,365	757	104	64.3	30.8	4.9	656	632.4
綏化市 Suihua	3,496	1,588	1,908	351	45.4	44.6	10.0	2,059	587.2
哈爾濱市 Harbin	5,352	3,308	2,044	638	61.8	26.3	11.9	4,310	675.4
伊春市 Yichun	3,276	3,036	239	38	92.7	6.1	1.2	278	725.3
鶴崗市 Hegang	1,468	1,264	204	117	86.1	5.9	8.0	648	551.7
佳木斯市 Jiamusi	3,270	2,145	1,126	451	65.6	20.6	13.8	3,436	762.2
双陽山市 Shuangyangshan	2,204	1,783	421	85	80.9	15.2	3.9	493	579.4
七台河市 Qitaihe	622	444	178	18	71.4	25.6	3.0	90	488.7
牡丹江市 Mudanjiang	3,868	3,221	647	46	83.3	15.5	1.2	291	626.6
鶴西市 Jixi	2,249	1,756	493	173	78.1	14.2	7.7	1,144	660.1
全体	47,289	35,567	11,722	2,368	75.2	19.8	5.0	15,051	614.1

解析期間は1951年～2010年とした。また、水稲栽培が盛んな綏化市・哈爾濱市・佳木斯市においては解析期間を延長するために、山本¹¹⁾がデータベース化を行った「北東アジア気象データベース」に収録されている日気温データ(1936～1940年)を統合し解析に用いた。

4. 解析方法

表2 黒龍江省南部における水稲生育ステージ¹²⁾

4.1. 月平均気温の変動と稲作期間への影響解析

日平均気温の観測値は水稲の生育ステージを決定するために用いることから、平均気温の上昇はイネの栽培に大きく影響することが考えられる。具体的には、表2に示した水稲生育ステージにおける移植～成熟期の早期化、および成熟～収穫期の低温に伴う登熟不良の発生防止により、収量の増加や品質の向上へ寄与するものと推測できる。ここでは、上記34地点における日平均気温データから月平均気温を求め、月毎の5年平均値(1951～1955年、1956～1960年、・・・、2006～2010年)から黒龍江省の月平均気温の分布図を作成した。さらに、作成した分布図から各行政区における月平均気温を求め、Mann-Kendall検定を用いて月毎・区毎に、温暖化にともなう有意な気温変動が認められるのかを算出し、稲作期間への影響を解析した。

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

4.2. 低温出現日数の変動と冷害リスクへの影響解析

冷害の発生は農作物の品質や収量に多大な影響を及ぼす。水稲の冷害には、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¹³⁾。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、ここでは過去の研究事例¹³⁻¹⁴⁾を参考に閾値を日最低気温16℃と設定し、水稲の感温性が高くなる穂ばらみ期～成熟期を含む6月～8月を対象とし、16℃未満の日数を月毎に求めた。4.1と同様に5年平均値を求め、日数の分布図を作成し、Mann-Kendall検定を用いて月毎・行政区毎に有意な変動が認められるのかを算出し、冷害リスクへの影響について解析した。

4.2. 低温出現日数の変動と冷害リスクへの影響解析

冷害の発生は農作物の品質や収量に多大な影響を及ぼす。水稲の冷害には、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¹³⁾。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、ここでは過去の研究事例¹³⁻¹⁴⁾を参考に閾値を日最低気温16℃と設定し、水稲の感温性が高くなる穂ばらみ期～成熟期を含む6月～8月を対象とし、16℃未満の日数を月毎に求めた。4.1と同様に5年平均値を求め、日数の分布図を作成し、Mann-Kendall検定を用いて月毎・行政区毎に有意な変動が認められるのかを算出し、冷害リスクへの影響について解析した。

5. 結果と考察

5.1. 月平均気温の変動と稲作期間への影響解析

表3には黒龍江省の各行政区における月平均気温の変動について、Mann-Kendall検定を行った結果を示した。1月から6月まで全ての区で月平均気温の有意な上昇傾向が認められ、5月・6月では全区で1%水準の有意な上昇傾向であった。しかし、7月以降は、9月と11月を除く月で、有意な上昇

傾向は数区にとどまった。表4には佳木斯市における月平均気温の5年平均値とMann-Kendall検定の結果、図2には稲作の移植～成熟ステージにあたる6～8月の月平均気温の5年平均値の推移を示した。有意な上昇傾向が示された月では、1936年から2010年までに、1～2℃程度の気温上昇が確認できる。一方で有意差がなかった月は、7月や8月のように解析期間を通して変化が小さくほぼ横ばいの結果や、10月や12月のように解析期間の半ば(1990年前後)で上昇し、その後低下するという2つのケースが存在することが確認された。

図2において稲作期間(6～8月)の推移を見ても、栄養生長のさかんな移植～出穂期前にあたる6月の平均気温は、現在までに約2℃上昇し、出穂の早期化によりイネの収量や品質に寄与していることが示唆された。一方で、気温の最高値を再現する7月や8月は変化が小さいため、成熟～収穫期の低温に伴う登熟不良の発生防止などへの影響は少ないが、気温上昇により品質の低下をもたらす高温害のリスクには大きな影響がないものと考えられる。以上の結果から、水田へ移植後の6月における平均気温の上昇が、イネの生育初期の環境を好条件なものに変化させ、イネが成熟するまでの中・後期は高温害のリスクも少なく、品種の転換を考慮する必要性は現状ではないことが示唆された。

5.2. 低温出現日数の変動と冷害リスクへの影響解析

表5には、6～8月の黒龍江省における最低気温16℃未満日数のMann-Kendall検定による検定結果を示した。全期間(6-8月)で見ると全ての区で有意な減少傾向を示し、6月は全区、7月は綏化市・哈爾濱市の除く区で有意な減少傾向を示し、8月の減少傾向は数区に限定された。平均気温の変動では、穂ばらみ期にあたる7月において有意な変化も示した区は少数であったが、低温日数では多くの区で変動が認められた。図2には、佳木斯市における6～8月の16℃未満日数の推移を示した。1960年前後に日数のピークがあり2000年代後半までに6月で約6日間、7月で約4日間の減少が確認でき、8月は変動が見られるが有意差は見られないため、全体として約10日間の

表3 黒龍江省の月平均気温のMann-Kendall検定による検定結果(1951年～2010年)

No.	区名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
①	大興安嶺地区	**	*	**	**	**	**	*	-	*	-	-	-
②	黒河市	**	**	**	**	**	**	*	*	**	*	*	-
③	齊齊哈爾市	**	**	**	**	**	**	*	**	**	-	*	-
④	大慶市	*	**	**	**	**	**	-	*	**	*	*	-
⑤	綏化市	*	**	**	**	**	**	*	*	**	-	-	-
⑥	哈爾濱市	**	**	**	**	**	**	*	-	*	-	*	-
⑦	伊春市	*	**	**	*	**	**	-	-	*	-	-	-
⑧	鶴崗市	*	*	*	*	**	**	-	-	*	-	*	-
⑨	佳木斯市	**	*	**	*	**	**	-	-	*	-	*	-
⑩	双鴨山市	**	*	**	*	**	**	-	-	**	-	*	-
⑪	七台河市	**	**	**	*	**	**	-	-	**	-	*	-
⑫	牡丹江市	**	**	**	**	**	**	-	-	*	*	**	*
⑬	鶏西市	**	**	**	*	**	**	-	-	**	*	**	-

** 1%水準で有意な上昇 * 5%水準で有意な上昇 - 有意差なし

表4 佳木斯市における月平均気温の5年平均値とMann-Kendall検定の結果(1936年～2010年、背景色の濃淡は月毎の気温の高低を表す)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1936-40	-21.8	-15.4	-6.8	4.5	12.3	18.3	22.0	21.3	13.9	4.2	-7.3	-18.7
51-55	-21.4	-17.7	-7.7	4.1	12.0	18.3	21.8	21.0	13.2	4.6	-8.1	-16.4
56-60	-21.5	-15.9	-7.2	3.4	12.2	17.8	21.1	20.2	14.2	4.9	-6.9	-17.4
61-65	-19.8	-16.6	-6.1	4.5	12.6	18.4	21.2	20.1	13.9	4.7	-8.0	-17.4
66-70	-21.0	-16.9	-6.8	5.5	13.1	18.2	22.0	20.2	12.9	5.1	-7.8	-18.9
71-75	-19.1	-16.0	-6.0	5.2	12.5	18.5	21.9	19.8	14.0	4.7	-6.7	-18.2
76-80	-21.9	-16.9	-5.6	4.1	13.3	19.1	22.4	19.8	13.7	4.1	-7.5	-17.7
81-85	-20.2	-16.1	-6.5	6.2	13.3	17.9	21.9	21.0	13.8	4.0	-7.3	-16.9
86-90	-20.2	-14.4	-4.2	5.7	12.6	19.7	21.7	20.8	14.0	5.5	-6.5	-15.5
91-95	-18.7	-13.0	-4.7	5.2	13.1	18.8	21.7	20.5	14.0	6.3	-6.4	-16.5
96-2000	-19.8	-13.7	-5.8	6.5	13.7	19.0	23.0	20.3	14.2	4.7	-7.6	-17.5
01-05	-18.9	-14.6	-4.6	6.1	13.8	19.7	21.5	19.9	14.5	5.4	-6.4	-17.5
06-10	-18.4	-15.1	-5.8	5.4	14.1	19.9	21.9	21.0	14.3	5.5	-7.1	-16.6

** 1%水準で有意な上昇 * 5%水準で有意な上昇 - 有意差なし

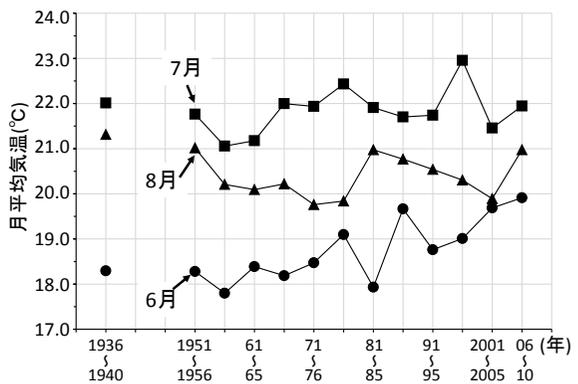


図2 佳木斯市における6～8月平均気温の5年平均値の推移(1936年～2010年)

表5 黒龍江省における6～8月の最低気温16℃未満日数のMann-Kendall検定による検定結果(1951年～2010年)

No.	区名	6月	7月	8月	6-8月
①	大興安嶺地区	*	**	-	**
②	黒河市	**	*	-	**
③	齊齊哈爾市	**	**	*	*
④	大慶市	**	*	*	**
⑤	綏化市	**	-	*	*
⑥	哈爾濱市	*	-	-	*
⑦	伊春市	*	*	-	*
⑧	鶴崗市	**	**	-	*
⑨	佳木斯市	**	**	-	**
⑩	双鴨山市	**	**	-	*
⑪	七台河市	**	**	-	**
⑫	牡丹江市	*	*	*	**
⑬	鶏西市	**	**	-	**

** 1%水準で有意な減少
 * 5%水準で有意な減少
 - 有意差なし

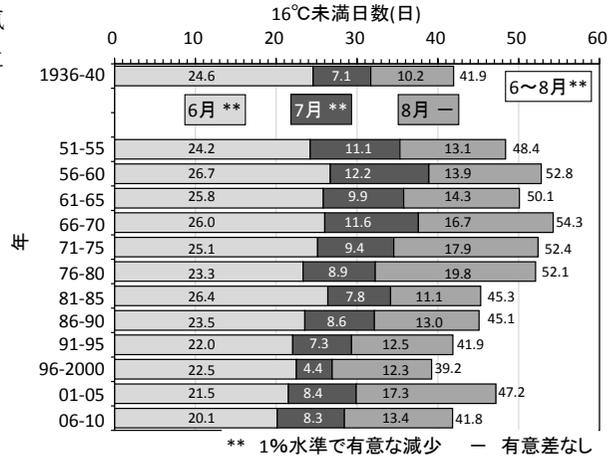


図2 佳木斯市における6～8月の最低気温16℃未満日数の推移(1936年～2010年)

低温日数が減少していることが明らかになった。これは、5.1の結果と異なり、水田での生育初期から中期までの変動が確認でき、特に低温感受性が高まる穂ばらみ期にあたる7月の低温日数の減少は冷害リスクの低減につながり、収量と品質の向上に大きく寄与しているものと考えられる。

6. まとめ

本研究により、中国黒龍江省における温暖化は季節により傾向が異なっており、特に稲作においては移植後の栄養生長期にあたる5・6月で平均気温の上昇が全域で示され、移植後～出穂期にあたる6・7月で低温日数の減少が全域で示された。これらの変動は水稻栽培における生育の促進と冷害リスク低減による品質向上・収量増加に寄与し、さらに、1980年代以降の稲作技術の進歩やジャポニカ種の生産拡大なども伴い、黒龍江省の稲作拡大に大きな影響を及ぼしたものと考えられる。

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) 山崎俊成・山本晴彦・王秀峰・高山成: 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, 自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集, (3), 45-48, 2017
- 8) 黒龍江省統計局 HP: http://www.hlj.stats.gov.cn/ (平成 29年 8月 28日 閲覧)
- 9) 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)
- 10) 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.
- 11) 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/)
- 12) 中本和夫・李寧輝・矯江,2007:黒龍江水稻生産と風険経営. 中国農業科学技術出版社, 227p
- 13) 坪井八十二,1990: 農業気象学. 養賢堂, 283p
- 14) 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