

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05256

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文) Prediction of paddy rice production risk in 100 years of weather and water resources in northeastern China

研究代表者

山本 晴彦 (YAMAMOTO, Haruhiko)

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：40263800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：黒龍江省における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について、GHCNおよび北東アジア気象データベースを統合し、日気温データを用いて解析を行った。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下へと変化させ、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。

研究成果の概要(英文)：I analyzed it using GHCN and a northeast Asian weather data base about impact statement to expansion and damage from cold weather risk reduction for the rice growing period by the warming in Heilongjiang.

研究分野：農業気象学

キーワード：中国東北部 冷帯 稲作 イネ 気候変動 リスク

1. 研究開始当初の背景

中国の東北三省（黒龍江省、吉林省、遼寧省）は、人口約1億1千万人、日本の約2倍強の面積を有し、とりわけ最北の黒龍江省は中国における水稲の高品質米の大生産地として、近年急速に水田が拡大している地域である。その背景として、同地域が地球温暖化の影響を受けていることに加えて、満洲国建国後、満洲国農事試験場としてわが国から多くの研究者と研究資金が投入され、終戦後も幹部研究者が技術留用者として、新中国で研究指導に従事した歴史的な経緯がある。さらに1972（昭和47）年の日中国交正常化以降、例えばJICA（国際協力事業団）による1988年からの黒龍江省の三江平原農業総合試験場計画（水稲冷害研究の充実）では、低温冷害研究センター、三江水利試験場等の設立、農業専門家の派遣など多くのODA援助があり、今日につながる実績を挙げてきた。

黒龍江省では1990年初頭の80万haが2007年には225万haと3倍弱に拡大したが、農業気象学的に見て、数多くの課題を有している。すなわち、①高緯度で大陸性気候を有する「冷帯冬少雨（東岸）気候区（Dw）」に位置付けられる。このため、夏季には異常低温（いわゆる冷害）に見舞われるリスクがきわめて高い。②東北三省には、黒龍江、松花江、嫩江、遼河、大凌河の大河川があるが、夏季干ばつ時の流量は少なく、水質汚染も深刻になりつつある。このため水田増加に伴う灌漑用水の不足がきわめて深刻である。③水田の灌漑用水に地下水を50%も使用する地域もあるが、地下水の水温は平均気温とほぼ一致することから、温水路や温水池の昇温施設があるものの不十分なため、低水温による冷害発生が報告されている。④水田管理者・耕作者が、作付け品種の耐冷性を十分に理解しておらず、市場取引価格で作付け品種を判断することも多く、異常低温に遭遇した場合、大きな冷害の発生が国際的な穀物市場に影響することが今後懸念される。こうした背景から、本研究プロジェクトは、以下の目的のもと遂行された。

2. 研究の目的

中国の東北三省（黒龍江省、吉林省、遼寧省）は、水稲の栽培可能な北限（北緯40～50度）に位置するが、わが国のODA援助や近年進行する温暖化を背景に、水稲の栽培面積が急速に拡大している。大陸性のモンスーン気候を有する同地域では、①夏季の異常低温による冷害（遅延型・障害型）の発生。②水田の拡大に伴う灌漑用水の不足。③地下水の低水温による冷害の発生。といったリスクを内包している。研究グループでは、「北東アジア気象データベース」²⁾と「Global Historical Climatology Network (GHCN)」³⁾を接続した約100年におよぶ気象データベースを構築することにより、気候変動と作付面積の拡大、さらに品種、作期、栽培技術の

進歩といった複数の要因の関連を考慮した、同地域の水稲栽培における夏季冷害遭遇リスクの評価を目指している。黒龍江省は最も北に位置するが、省内に黒龍江・松花江・ウスリー江の三大河が流れ、特に北東部の三江平原、西部の松嫩平原は大規模なコメの産地となっている。水稲の作付面積は2009年時点で246万haと1980年の約20万haから12.5倍に拡大しており、単収も1haあたり3.8tから6.2tと1.6倍になったとされる。

そこで、①黒龍江省における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、②松嫩平原を対象に人工衛星リモートセンシングと地理情報システム（GIS）から水田の抽出とマッピングを行い、水稲栽培の拡大状況を把握することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 黒龍江省における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

① 使用する気温データ

温暖化解析において使用する気温データは、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)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、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。

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)

行政区名 日 漢	総面積 (千ha)	農地以外		農地 B (千ha)	水田 C (千ha)	対総面積比 百分率(%)			水稲収量 (千t)	10a収量 (kg/10a)
		A (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	782.2	
双鴨山市 Shuangyashan	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	
雞西市 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	

② 解析方法

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。

表2 黒龍江省南部における水稻生育ステージ

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24日	9月28日 ~10月13日	9月28日 ~10月13日

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。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を参考に閾値を日最低気温 16°Cと設定し、水稻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°C未満の日数を月毎に求めた。前項と同様に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。

(2) 松嫩平原を対象にした人工衛星リモートセンシングと地理情報システム(GIS)による水稻栽培の拡大状況の把握

① 研究対象地域

研究対象地域を中国黒龍江省南西部の松嫩平原周辺を研究対象地域とした。その中で人工衛星 Landsat シリーズの Path118 Row28 がカバーする地域を、サンプルポイントの参照地域とした。松嫩平原は黒龍江省西南部から吉林省西北部にかけて位置する東北平原の一部で、松花江と嫩江の堆積物により形成された平原である。大陸性の冷帯気候に属し夏季モンスーンの影響を受けるため、夏季を中心に年 500mm 程度の降水がある。世界三大国土帯の一つで肥沃な土壌に恵まれており、中国の主要な食糧生産地となっている。

② 人工衛星データ

1990年, 2000年, 2016年の3ヵ年について、水稻の移植期(5月下旬~6月上旬)と登熟期(8月中旬~9月上旬)において、人工衛星 Landsat5-TM, 7-ETM+, 8-OLI によって取得されたデータを集めた。入手したデ

ータからマニュアルに従って、可視域3バンド(B1, B2, B3), 近赤外1バンド(B4), 短波長赤外2バンド(B5, B7)の反射率(B, G, R, NIR, SWIR1, SWIR2)を算出した。可視域空間分解能は30mである。さらに次に示す指数を算出した。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

$$MNDWI = \frac{G - SWIR1}{G + SWIR1} \quad (2)$$

$$NBR = \frac{G - SWIR1}{G + SWIR1} \quad (3)$$

ここでNDVIは正規化植生指数, MNDWIは修正正規化水指数, NBRは正規化焼け跡率である。地理情報を含むデータ処理には, ArcMap10.4(ESRI社)を使った。また, Vis_mean・Vis_med・Vis_cv; それぞれ, B, G, Rの平均値・中央値・変動係数を算出した。

③ 土地被覆分類

サンプルポイントの参照地域について, 1990年, 2000年, 2016年における, 雲, 雲影, 水域, 植生, 裸地, 都市の6つの分類カテゴリを設定し, (B・G・R) = (赤・緑・青)に割り当てたフォールスカラー画像を基に, 目視判読でカテゴリごとにサンプルポイントを10~140個GIS上に打ち込んだ。サンプルポイントの位置における全てのバンド反射率と指数を属性情報として読取り, これを説明変数として, 分類カテゴリに該当するかのダミー変数に対する判別分析を行った。説明変数の選択は, 第一説明変数を定めた後, 2変量, 3変量・…とすべての説明変数が有意かつ最も判別率が高くなる組み合わせを探した。第一説明変数は分類カテゴリごとの反射特性を考慮して, 以下のように設定した。雲・雲影; Vis_meanとVis_medのいずれかが有意かつ判別率が高い方。水域・植生; NDVI。都市; 有意な1変量で最も判別率が高いもの。地面; MNDWI。

2016年に関しては得られた判別式を, 松花江と嫩江流域をカバーする17シーンに適用して水田の抽出を試みた。ただし, 雲のマスクは, 積雲系の雲域についてバンド1から7までの第一主成分の主成分得点, 層雲系の雲域についてバンド9の反射率にそれぞれ, 閾値を設定して行った。

4. 研究成果

(1) 黒龍江省における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

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3)。

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。稲作期間(6~8月)の推移を見ても、栄養生長のが旺盛な移植~出穂期前に相当する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下へと変化させ、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(表4)。

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	21.8	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	-16.8

** 1%水準で有意な上昇 * 5%水準で有意な上昇 - 有意差なし

(2) 低温出現日数の変動と冷害リスクへの影響解析

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

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(表5)。

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

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日間の低温日数が減少していることが明らかになった。これは、表4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(図1)。

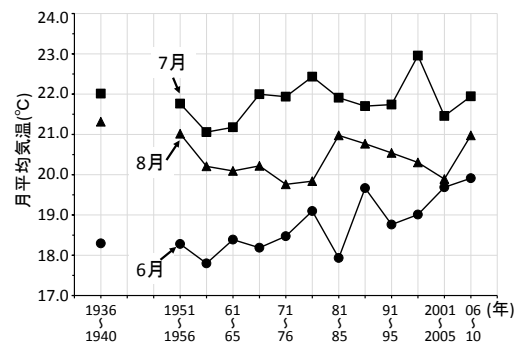


図1 佳木斯市における6~8月平均気温の5年平均値の推移(1936年~2010年)

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相当する5・6月で平均気温の上昇が全域で示され、移植後~出穂期に相当する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。

(2) 松嫩平原を対象にした人工衛星リモートセンシングと地理情報システム (GIS) による水稻栽培の拡大状況の把握

① 水稻の移植期における土地被覆分類

黒龍江省は水稻の移植時期が概ね5月中旬から下旬, 5月下旬は水田に水が張られた状態にあると考えられる. 研究対象地域は広大な農地の中に集落や街が点在する平野である. フォールスカラー画像を目視判別したところ, 地表面状態については, 温水地や湖沼・河川などの“水域”, 山間部や河川沿いの低湿地などに繁茂している“植生”, 点在する集落や街が“都市”, その周辺に広がる農地は“裸地”と判別できた. なお, 目視判読の際は適宜, Google Earth や ArcMap のベースマップを確認した. 目視判別の結果をダミー変数として, 例えば2000年5月の判別分析の結果, 都市について SWIR1, SWIR2, Vis_cv の3変量, 裸地について MNDWI, NBR の2変量を説明変数として, (的中率, 誤判別率) がそれぞれ (98.6%, 0.0%), (90.5%, 8.5%) の判別式が得られた. しかし, “都市”の判別式をシーン全体に適用したところ, 都市のある場所を判別することは不可能で, “雲”と“裸地”の判別式の両方で都市のある場所を誤判別していた. また, 植生の一部, 都市を雲影が誤判読していたが, 水域は良好に判別されていた. そこで判別式の優先順位を, 雲<雲影<裸地<植生<水域とした.

② 水稻の登熟期における土地被覆分類

2000年8月17日における ETM+ フォールスカラー画像の目視判別を例にすると, 5月29日に“裸地”であったサンプルポイント10点のうち, 9点が“植生”に変化しており1点は雲に覆われていた. そこで“裸地”を除いた5種類の分類カテゴリについて判別分析を行った. その結果, “都市”の判別式による判定結果は, (的中率, 誤判別率) = (96.3%, 5.5%) と高くなかったが, 判別式をシーン全体に適用したところ, 点在する都市・集落を抽出することが出来た. さらに, 白色に見える土壌面(裸地)も同時に“都市”として抽出された. そこで, このシーンの判別式の優先順位を, 雲<雲影<都市<植生<水域とした. 1990年, 2016年についてもそれぞれ優先順位を設定した.

③ 水田の抽出

移植期前後の水が張られた時期に“水域”として抽出され, 登熟期である8月下旬に“植生”として判別される場所は, “水田”である可能性が高い. 5月29日のシーンから温水地や湖沼・河川以外の“水域”は抽出されなかった. そこで, 6月6日と7月8日の Landsat-5 TM について, 5月29日に得られた“水域”の判別式を適用した. しかし, いずれのシーンについても集落周辺の水田と見られる場所が, “水域”として判定されることはなく, 目視判読も不可能であった. ただし, 7月8日のシーン

ではそれまで“裸地”として見えていたこれらの場所の中に, “植生”と見える場所が増加していた. すなわち, 移植から一定期間を経過して水稻がある程度生長してくると, Landsat 衛星画像から“植生”として認識することができ, それ以前の時期において“水田”を“裸地”や“都市”と区別することは困難であることが分かった. そこで, 8月17日の“植生”から5月29日に“植生”だった場所を除き, このうち5月29日に“裸地”であった場所を“水田”として抽出した. 1990年8月30日, 2000年8月17日, 2016年8月21日における, ハルビン市周辺の土地被覆分類結果を図2(a),(b),(c)にそれぞれ示す. ハルビンの中心市街地と郊外に広がる水田および点在する集落, 温水地や河川などの水域がよく抽出されていた.

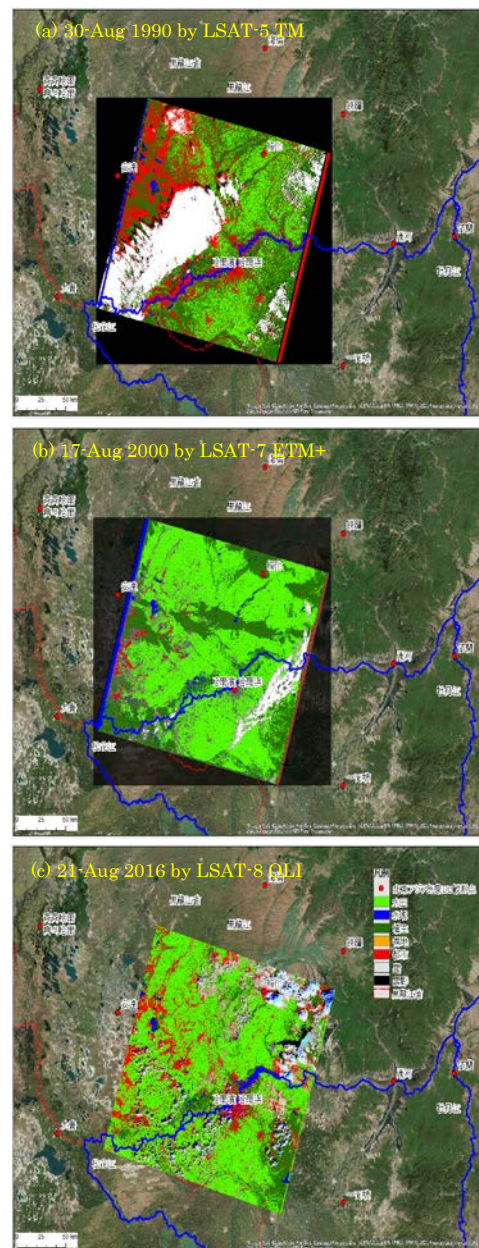


図2 ハルビン周辺の参照地域における土地被覆分類結果

松花江と嫩江流域をカバーする 17 シーンに土地被覆分類を適用した結果を図 3 に示す。5 月から 6 月の移植期に裸地または都市と分類されたピクセルのうち、8 月の登熟期に植生と判定されたピクセルを水田として抽出することができた。本研究により水田の拡大状況をマッピングすることが可能であった。

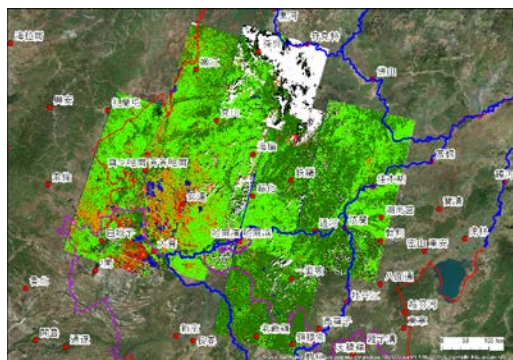


図 3 松花江と嫩江流域をカバーする 17 シーンの Landsat8-OLI データに基づく土地被覆分類 (2016 年)

引用文献

- 1) 山本晴彦: 帝国日本の気象観測ネットワーク 満州・関東州. 農林統計出版社, 322p, 2013.12.
- 2) 北東アジア気象データベース <http://yamaharu-nds.jp/neamdb/>
- 3) 山本晴彦 (2010) 2010 年日本地理学会秋季学術大会発表要旨集, 78: p62.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① 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 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. 自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集, 査読無, **4**, 41-44, 2018.3.
- ② 南家進吾・山本晴彦・山崎俊成・高山 成・王秀峰: 中国内蒙古自治区における降水量の長期変動解析. 自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集, 査読無, **4**, 51-54, 2018.3.
- ③ 南拓人・高山 成・山本晴彦・山崎俊成・王秀峰: 人工衛星による中国黒龍江省松嫩平原における稲作拡大状況のマッピング. 日本農業気象学会近畿支部講演論文集, **10**, 8-13, 2017.12.
- ④ 山本晴彦・山崎俊成・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 1 報 冷害を軽減する技術開発の歴史. 自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集, 査読無, **3**, 41-44, 2017.3.
- ⑤ 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, 査読無, **3**, 45-48, 2017.3.

- ⑥ Zhongyi Sun, Xiufeng Wang, Haruhiko Yamamoto, Hiroshi Tani, Guosheng Zhong, Shuai Yin: An attempt to introduce atmospheric CO2 concentration data to estimate the gross primary production by the terrestrial biosphere and analyze its effects, *Ecological Indicators*, Vol.84, 218-234, 2017.
- ⑦ Zhongyi Sun, Xiufeng Wang, Haruhiko Yamamoto, Jiquan Zhang, Hiroshi Tani, Guosheng Zhong, Shuai Yin: Extraction of rice-planting area and identification of chilling damage by remote sensing technology: a case study of the emerging rice production region in high latitude, *Paddy and Water Environment*, Vol. 15, 181-191, 2017.

[学会発表] (計 4 件)

- ① TAKAYAMA Naru, YAMAMOTO Haruhiko, YAMAZAKI Toshiaki, WANG Xiufeng and MINAMI Takuto: Mapping of Regional Extension of Paddy Field over the three Northeastern Provinces in China Based on Satellite Remote Sensing, *International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2018)*, 13-17 Mar., 2018, Fukuoka (Japan).
- ② Yin, S., Wang, X., Tani, H., Sun, Z.: Analyzing the severe hae-pollution episodes in autumn of Northeastern China. *International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2018)*, 13-17 Mar., 2018, Fukuoka (Japan).

[その他]

ホームページ等

環境情報学教育研究分野 (農業環境学)
<http://yamaharu.agr.yamaguchi-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 晴彦 (YAMAMOTO, Haruhiko)
山口大学・大学院創成科学研究科・教授
研究者番号: 40263800

(2) 研究分担者

高山 成 (TAKAYAMA, Naru)
大阪工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 40403373

王 秀峰 (WANG, Xiufeng)
北海道大学・農学研究院・准教授
研究者番号: 30301873