

アレニウス式とアメダス気象データを利用した北陸地方における 湛水直播栽培の播種早限の推定

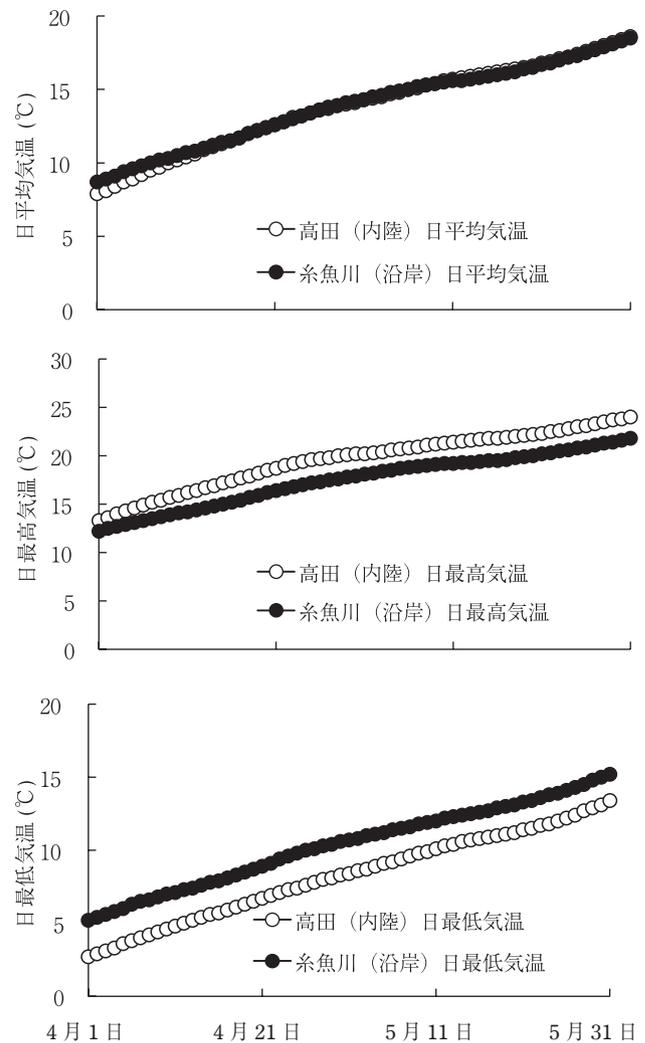
古畑昌巳¹⁾・原嘉隆²⁾

(¹⁾ 中央農業総合研究センター北陸研究センター, (²⁾ 九州沖縄農業研究センター)

要旨: 寒冷地における湛水直播栽培では、気温が低い条件で播種した場合、出芽・苗立ちが遅れた結果、最終的な出芽・苗立ち率は低下して、生育量不足によって低収となることがある。これまで、寒冷地における湛水直播栽培の出芽・苗立ち確保の目安となる播種早限は、平均気温から推定されていたが、今後は地域の気象条件に対応して、よりきめ細かい播種早限の提示が必要である。本研究では、北陸地方の湛水直播栽培において安定した出芽・苗立ちを確保する目的で、アメダス気象データとアレニウス式を利用して、北陸各地点における湛水直播栽培の播種早限を新たに推定した。その結果、日平均気温から推定した播種早限と気温日較差から推定した播種早限は異なった。また、内陸部では高標高地点を除いて播種早限は早まり、沿岸部周辺では播種早限は遅れる傾向となった。

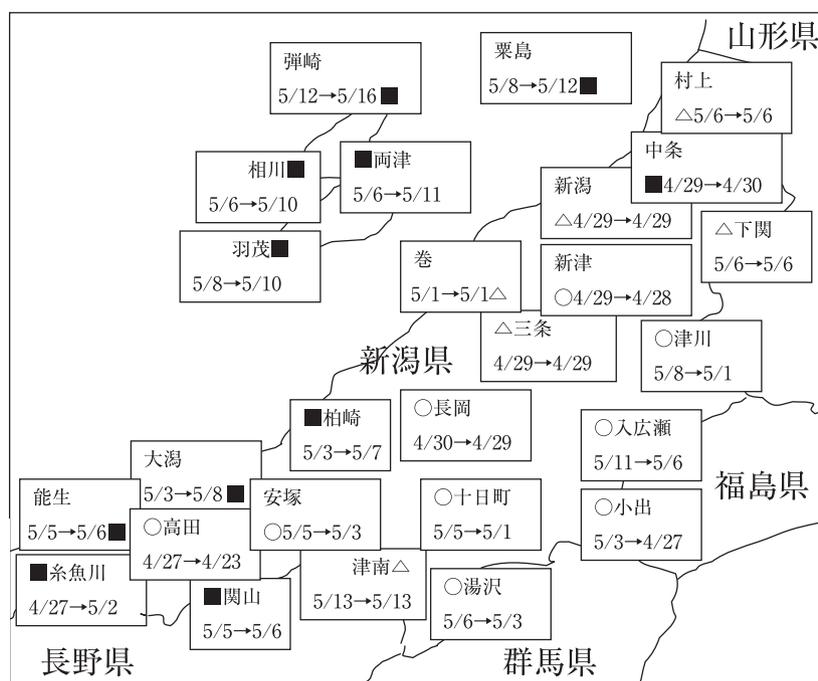
キーワード: アメダス気象データ, アレニウス式, イネ, 風, 気温日較差, 出芽, 湛水直播, 北陸地方。

北陸地方は、全国で最も湛水直播栽培の普及が進んでいる地域であり、中でも福井県では、直播栽培の県内普及面積は県内水稻栽培全体の12%を超えている状況にある(農林水産省2009)。一方、同地域においても直播栽培普及の程度は場所によって異なり、内陸部では比較的定着傾向が認められるものの、沿岸部(強風地域)では定着しにくい傾向がある。一般に沿岸部では海風があり、海風によって日中の気温が上昇しにくいことが報告されている。例えば、内陸部にある高田と沿岸部にある糸魚川では、日平均気温はほぼ同様に推移しているが、高田の日最高気温は、糸魚川に比べて高く推移し、高田の最低気温は、糸魚川に比べて低く推移することから、糸魚川の気温日較差は、高田に比べて小さい(第1図)。このように日平均気温が同じであっても、風が気温の日較差を小さくすることによって湛水直播水稻の出芽・苗立ちおよびその後の生育経過に影響していることが推測される。このことに関して、催芽種子を供試して、異なる気温、気温日較差条件で出芽・苗立ちを調査した結果、気温日較差の影響は、播種後低温条件が播種後高温条件に比べて大きいこと、播種後低温条件では、気温日較差が大きい区は気温日較差が小さい区に比べて生育量が大きくなることが報告されている(古畑ら2008a)。また、過酸化カルシウムコーティング種子、鉄コーティング種子、催芽種子を供試して試験を行った結果、過酸化カルシウムコーティング種子は、鉄コーティング種子と催芽種子に比べて気温日較差の影響が小さいこと、播種後低温条件では、気温日較差が大きい区は気温日較差が小さい区に比べて生育量が大きくなること、すべてのコーティング種子条件において確認され(古畑ら2008b)、それぞれの結果をアレニウス式でも説明することができた(古畑ら2008a, 2008b)。このことは、逆にアレニウス式から湛水直播栽培の播種早限を推定できる可能性を示している。



第1図 高田(内陸)と糸魚川(沿岸)の4月から5月までの日平均気温、日最高気温、日最低気温の比較。

高田と糸魚川のアメダス気象データより作成した。日平均気温、日最高気温、日最低気温は平年値(1971~2000年)で示す。



第2図 新潟県における湛水直播栽培の播種早限の推定。

記号はアメダス地点の位置を示す。○：日較差早限が平均気温早限から早まる地点，△：日較差早限が平均気温早限と同日となる地点，■：日較差早限が平均気温早限から遅くなる地点。平均気温早限→日較差早限で示す。

寒冷地である東北・北陸地方では、播種早限（播種適期）の目安となる気温について、北陸地方では日平均気温が15℃前後、東北地方では播種後20日間の平均気温が13.5℃以上（本馬ら2000）、日平均気温が12℃以上（秋田県農林水産部2012）、日平均気温が12℃（岩手県農業研究センター1999）、日平均気温が13℃前後（宮城県農業センター2001）必要とされ、ともに播種後の気温が低い条件下で初期生育量の確保が必要とされている。現在、寒冷地における湛水直播栽培の播種早限は、平均気温から推定されているが、今後は地域の気象条件に対応して、よりきめ細かい播種早限の提示が必要であると考えられる。そこで本研究では、アレニウス式およびアメダス気象データを利用して、北陸地方の気象観測地点ごとの湛水直播栽培の播種早限の推定を新たに行った。なお、北陸地方アメダス観測地点における播種時期（4月～5月）の気温日較差についてみると、いずれも6.3～13.6℃の範囲におさまることから、平均的な気温日較差は10℃前後であると判断された。

材料と方法

北陸地方のアメダス気象データ4月から6月上旬の日平均気温、日最高気温、日最低気温の平年値（1971（一部1979）～2000年までの平均値）から、1）播種後20日間の平均気温が15℃となる最初の日（以下、平均気温早限）、または2）アレニウス式に従う原の式（原2010）を利用して連続した20日間の変換日数（20日間の積算値）を求め、 $15 \pm 5^\circ\text{C}$ 条件・20日間の変換日数の値（7.573）を超えた

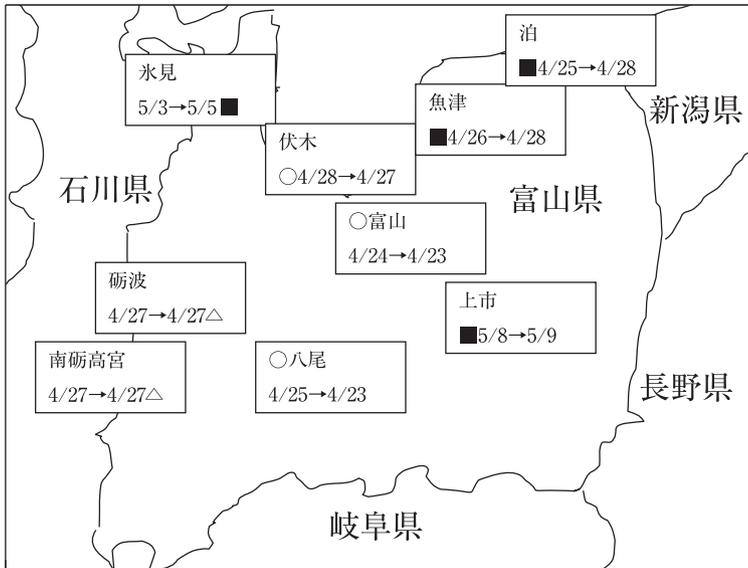
最初の日（以下、日較差早限）を計算してそれぞれ早限日とした。なお、1日の変換日数は、最高気温（ T_H ）、最低気温（ T_L ）、気体定数（ R ）の値を $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、活性化エネルギー（ E ）の値を 80 kJ mol^{-1} として以下の式で求めた。

$$1 \text{ 日の変換日数} = \text{EXP} \left(\frac{1}{273.15+25} - \frac{1}{273.15+T_H} \right) \times E/R / 2 + \text{EXP} \left(\frac{1}{273.15+25} - \frac{1}{273.15+T_L} \right) \times E/R / 2$$

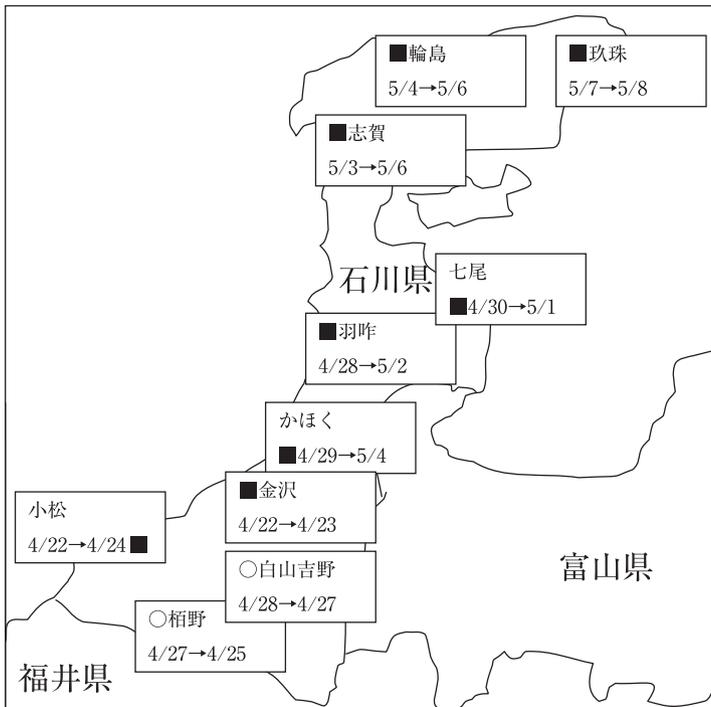
結 果

1. 新潟県における播種早限の推定

新潟県における湛水直播栽培の播種早限の推定を第2図に示した。内陸部について、新津、津川、入広瀬、小出、長岡、十日町、湯沢、安塚、高田では、日較差早限は平均気温早限に比べて早まったが、下関、三條の日較差早限は平均気温早限と同日となり、標高が高い観測地点である津南と関山では日較差早限は平均気温早限に比べて同日か1日遅くなった。沿岸部について、下越の沿岸部周辺となる村上、中条、新潟、巻では、日較差早限が中条のみ1日遅れで他は同日であったが、上・中越の沿岸部周辺の柏崎、大潟、能生、糸魚川では、いずれの地点も日較差早限は平均気温早限に比べて遅れた。また、粟島、佐渡の弾崎、両津、相川、羽茂では、日較差早限は平均気温早限に比べて明らかに遅れた。さらに、内陸部にある高田と沿岸部周辺にある糸魚川についてみると、平均気温早限は両地点ともに4月27日であったが、内陸部にある高田の日較差早限は4月23日で平均気温早限に比べて4日早まる一方で、



第3図 富山県における湛水直播栽培の播種早限の推定。
記号はアメダス地点の位置を示す。○：日較差早限が平均気温早限から早まる地点，△：日較差早限が平均気温早限と同日となる地点，■：日較差早限が平均気温早限から遅くなる地点。平均気温早限→日較差早限で示す。



第4図 石川県における湛水直播栽培の播種早限の推定。
記号はアメダス地点の位置を示す。○：日較差早限が平均気温早限から早まる地点，△：日較差早限が平均気温早限と同日となる地点，■：日較差早限が平均気温早限から遅くなる地点。平均気温早限→日較差早限で示す。

沿岸部周辺にある糸魚川の日較差早限は5月2日で平均気温早限に比べて5日遅くなるため、両地点の日較差早限は9日異なった。

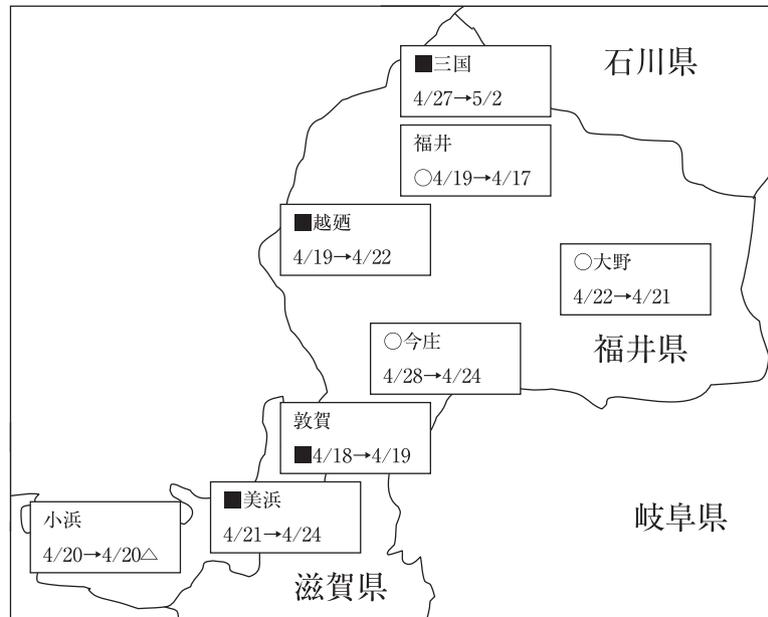
2. 富山県における播種早限の推定

富山県における湛水直播栽培の播種早限の推定を第3図に示した。内陸部の八尾、富山湾奥の沿岸部周辺の富山と伏木では、日較差早限は平均気温早限に比べて早まる一方、砺波、南砺高宮の日較差早限は平均気温早限と同日であった。また、北部の沿岸部周辺の泊、魚津と氷見では、日較差早限は平均気温早限に比べて遅くなった。また、標高が

高い観測地点である上市では、日較差早限は平均気温早限に比べて1日遅くなった。

3. 石川県における播種早限の推定

石川県における湛水直播栽培の播種早限の推定を第4図に示した。内陸部にある白山吉野、栢野では、日較差早限は平均気温早限に比べて早まる一方、能登半島にある玖珠、輪島、志賀、七尾、羽咋、かほくおよび沿岸部周辺の金沢と小松では、日較差早限は平均気温早限に比べて遅くなった。



第5図 福井県における湛水直播栽培の播種早限の推定。

記号はアメダス地点の位置を示す。○：日較差早限が平均気温早限から早まる地点，△：日較差早限が平均気温早限と同日となる地点，■：日較差早限が平均気温早限から遅くなる地点。平均気温早限→日較差早限で示す。

4. 福井県における播種早限の推定

福井県における湛水直播栽培の播種早限の推定を第5図に示した。内陸部にある福井、大野、今庄では、日較差早限は平均気温早限に比べて早まる一方、沿岸部周辺の三国、越廼、敦賀、美浜、小浜では、日較差早限が小浜のみ同日で、他は平均気温早限に比べて遅くなった。

考 察

本研究の結果、日較差早限は平均気温早限に比べて内陸部では早まる傾向を示し、沿岸部では遅れる傾向を示した(第2図、第3図、第4図、第5図)が、観測地点によっては異なる傾向を示した。沿岸部について、新潟県の下越沿岸部周辺、富山県の富山と伏木、福井県の小浜では他の沿岸部周辺と傾向が異なり、日較差早限は平均気温早限に比べてほぼ同日か早まる傾向を示した。新潟県の下越沿岸部周辺は、北西に佐渡島があり、富山と伏木は富山湾の奥に、小浜は若狭湾の奥に位置していることから、海風の強さ等が他の沿岸部と異なったためであると考えられた。また、内陸部について、新潟県の津南と関山、富山県の上市では、日較差早限は平均気温早限に比べて同日か1日遅くなる傾向を示したが、地域の中で相対的に標高が高い地点であった。このように、湛水直播栽培の播種早限は、沿岸部、内陸部というだけでなく、地域の地形や起伏の影響も受けていることが推察された。

北陸地方では、播種早限(播種適期)の目安となる日平均気温について15℃前後必要とされている。この設定は主に経験則に基づいたものであり、日平均気温からのみ

推定されていることから、地域ごとの気象条件に対応できていない。また、本研究では15±5℃条件・20日間の変換日数の値を超えた最初の日を日較差早限として設定した。北陸地方の春(4月～5月)の気温日較差について、内陸部の新潟県高田で10.5～12.1℃、富山県八尾で11～12.2℃、石川県栢野で10.9～12.0℃、福井県福井で9.3～10.4℃等、内陸部の複数地点で10℃前後の気温日較差が認められることから、北陸地方の内陸部では十分起こりうる標準的な温度設定であると考えられた。これらのアメダス気象データとアレニウス式利用による播種早限の推定はこれまでの日平均気温から導かれた播種早限とは異なり、気象観測地点ごとの気温日較差データを利用することによって、地域内の気象条件に対応した播種早限推定であると考えられるが、より推定精度を向上させるためには、同時に北陸地方において多地点での気象および出芽・苗立ちデータと併せて評価する必要がある。地域の気象条件と出芽・苗立ちとの関係を整理した例として、吉永ら(2007)は、東北地方の湛水直播栽培における酸素発生資材被覆量と苗立ちとの関係について、地域内27地点における播種後気温、播種深度、播種後水管理等のデータを整理、報告しており、このような地域内連係データの集約と併せて整理を進めていく必要があると考える。

以上の結果、アメダス気象データとアレニウス式を利用して、北陸各地点における湛水直播栽培の播種早限を推定した。その結果、日平均気温から推定した播種早限と気温日較差から推定した播種早限は必ずしも一致しなかった。

また、内陸部では高標高地点を除いて播種早限は早まり、沿岸部周辺では播種早限は遅れる傾向となった。

謝辞：本研究の遂行に当たり、近畿中国四国農業研究センターの松村修氏には適切なお助言を頂いた。また、研究スタッフの渡辺梅子さんにご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

引用文献

- 秋田県農林水産部編 2012. 稲作指導指針. <http://www.pref.akita.lg.jp/www/contents/1270079681593/files/H24inasaku.pdf> (2013/02/01 閲覧).
- 岩手県農業研究センター 1999. 水稲の湛水土中直播栽培法. <http://www.pref.iwate.jp/~hp2088/seika/h10/b03.pdf> (2013/02/01 閲覧).
- 古畑昌巳・原嘉隆・松村修 2008a. 風等の気象条件が湛水直播の出芽・苗立ちに及ぼす影響－異なる気温と気温日較差での解析－. 日作紀 77(別 1) : 10-11.
- 古畑昌巳・原嘉隆・松村修 2008b. 風等の気象条件が湛水直播の出芽・苗立ちに及ぼす影響－低温条件における異なるコーティング種子と気温日較差での解析－. 日作紀 77(別 1) : 12-13.
- 原嘉隆 2010. 日平均温度で算出した標準温度変換日数の過誤評価程度と日較差を用いた補正. 日作紀 79 : 342-350.
- 本馬昌直・菊池栄一・三浦恒子・酒井博幸・小野寺郁夫・一守貴志・木野田憲久・小菅孝一・寺島一男・渡邊寛明 2000. 東北地域の水稲湛水直播における直播後落水管理の効果と適用条件. 東北農業研究成果情報 14 : 51-52.
- 宮城県農業センター 2001. 水稲湛水土中条播栽培体系. <http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/69495.pdf> (2013/02/01 閲覧).
- 農林水産省 2009. 最新の直播の状況 (20年産速報値). http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/pdf/zikamaki_h20.pdf (2013/02/01 閲覧).
- 吉永悟志・境谷栄二・吉田宏・山本晶子・若松一幸・菊池栄一・本間昌直 2007. 東北地域の水稲湛水直播栽培における酸素発生剤被覆量と苗立ちとの関係. 日作紀 76 : 445-449.

Early Sowing Limits for Direct Seeding in Flooded Paddy Fields in the Hokuriku Region: Masami FURUHATA¹⁾ and Yoshitaka HARA²⁾ (¹⁾NARO Agricultural Research Center Hokuriku Research Center, Joetsu 943-0193, Japan; ²⁾NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center)

Abstract : In cold climates, when seeds are sown directly in flooded paddy fields during the low temperature, the final rates of seedling emergence and establishment are decreased compared with warmer climates. Seeding at low temperatures also decreases the yield because of reduced plant growth. The early sowing limits for emergence and establishment of seeds in cold climates have been estimated using daily mean temperature. However, it is also necessary to estimate the early sowing limits under site-specific weather conditions. In this study, we calculated the early sowing limits for direct seeding of paddy rice at different points in the Hokuriku region using Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) weather data and the Arrhenius equation. The goal was to help establish the direct seeding technique in Hokuriku by clarifying the conditions under which stable seedling emergence can be ensured. The results indicated that the early sowing limits of seeding calculated by the daily mean temperature differed from that calculated by the daily temperature range. Moreover, the early sowing limits tended to be earlier in inland areas, except at high altitudes, than in coastal areas.

Key words : AMeDAS weather data, Arrhenius equation, Daily temperature range, Direct seeding in flooded paddy field, Hokuriku region, Rice, Seedling emergence, Wind.