

北部九州における気象条件との関係に基づいたコムギの収量向上の方策

西尾善太^{1,2)}・内川 修³⁾・西岡廣泰⁴⁾・杉田知彦²⁾・岡見 翠²⁾・松中 仁²⁾・塔野岡卓司²⁾・中村和弘²⁾

(¹⁾ 東京農業大学農学部, (²⁾ 農研機構九州沖縄農業研究センター, (³⁾ 福岡県農林業総合試験場, (⁴⁾ 佐賀県農業試験研究センター)

要旨：北部九州のコムギ収量について、2000～2014年の旬別の平均気温、降水量、日照時間との関係を解析した。標準播種期である11月20日に播種したコムギ収量に対する気象条件の影響は、①分けつ始期の12月中旬の降水量との負の相関、②分けつ前期の1月上旬の気温との正の相関、③頂端小穂形成期の2月下旬の気温との負の相関、④登熟期後半の5月中旬の気温との負の相関により生じていた。平均収量の低い市町の収量は、12月中旬の降水量および5月中旬の気温と強い負の相関を示し、分けつ始期の土壌過湿条件に加えて、登熟後期の高温が減収を引き起こすとみられた。一方、1月上旬の高温により穂数が増加して幼穂形成始期が早まり、出穂期までの幼穂形成期間が確保され増収を示した。従って北部九州のコムギの収量向上には、①分けつ始期の多雨による穂数減少を防ぐため播種前から排水対策を徹底すること、②凍霜害を回避する播種早限の11月5～10日頃以降に播種を前進し幼穂形成始期を早めること、③登熟後期の高温による減収を防ぐため生育期間全体を通じた排水対策と追肥により植物体の活性を維持することが重要であると考えられた。さらなる収量向上には、これまで改良を進めてきた登熟期の雨害耐性（穂発芽や雨濡れによる粒色の溶脱）に加えて、幼穂形成を安定して早めるため秋播き性に依らない凍霜害耐性の改良、着粒数を増加させるコムギ *Vrs1* 遺伝子の利用、生育初期の多雨と登熟期後半の高温の両方に対する耐性の付与が必要であると考えられる。

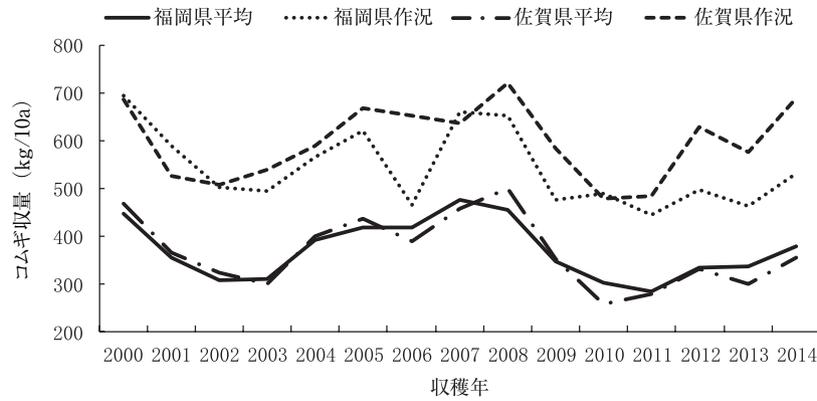
キーワード：気温、日照時間、降水量、コムギ、作況調査、収量、北部九州。

我が国における2014年および2015年のコムギ生産量は852400トン、1004000トンで（農林水産省2015）、そのうち約10～14%が九州地方で生産されており、北部九州の主産県の福岡県は約5～7%、佐賀県は約3～4%を占める。北部九州のコムギが多収であった2007年および2008年のコムギの10a当たり収量（以下収量）は、福岡県は475kg、454kg、佐賀県は457kg、500kgで、全国で収量水準が最も高い北海道の497kg、468kgと同様の収量を示した。しかし、2014年および2015年のコムギの10a当たり平均収量は、福岡県は379kg、307kg、佐賀県は355kg、303kgに留まり、北海道の447kg、596kgや全国平均の401kg、471kgを大きく下回った。この間の北部九州のコムギの品種構成や栽培法は大きく変化していないことから、気象条件によって大きな減収が発生することは国産コムギの安定供給上の大きな課題である。

北部九州におけるコムギ収量の変動については、収量構成要素のうち穂数およびm²当たり粒数の影響が最も大きいことが指摘されている（吉富ら1963、吉富ら1964、石丸・波多江1971a、1971b、波多江・石丸1978、田谷ら1981）。穂数は生育期間中の降水量と有意な負の相関を示すことが指摘されており、土壌の過湿条件に起因する生育障害が穂数を減少させると考えられる（田谷ら1981、浜地・吉田1989、松江ら2000）。また北部九州のコムギの不作年は多雨に加えて、冬季や登熟期間が平年よりも高温であったことが1976年や1998年の複数年の解析で報告されている（石丸ら1978、山本ら1999、松江ら2000）。しかし、これまで

の解析はコムギの生育ステージに相当する月単位の平均気温や累積降水量と試験圃場における生育および収量との関係を解析したものに限定されており、生産現場の収量を解析したものは少ない。

一方で近年の北海道のコムギ収量および収量構成要素に対して10日間毎（旬別）の気象条件が及ぼす影響を詳細に解析することにより、収量や収量構成要素への影響が特に大きい気温や日照等の気象条件の発生時期やその相互作用が明らかにされた（西尾ら2011、Shimodaら2015）。また北海道のコムギ品種きたほなみ、ゆめちからの生育量と土壌窒素量等のデータから、倒伏を避けつつ適切なタンパク質含有率と収量を得るための播種量や、目標収量に必要な窒素吸収量に応じて起生期および止葉期以降の追肥量を計算する生育管理ツールが開発されている（杉川2014）。従って、北部九州のコムギにおいても気象条件がコムギ収量や収量構成要素へ及ぼす影響を詳細に評価し、それに対応した適切な栽培技術によって収量を向上させることが期待される。そこで本研究では、北部九州のコムギ主産地である福岡県と佐賀県のコムギ収量について、2000～2014年の15年間の作物統計の市町村別10a当たりコムギ収量（以下収量）および品種シロガネコムギおよびチクゴイズミの作況調査と、生育期間中の旬別の気温、降水量、日照時間との関係を解析し、コムギ収量に有意に影響している気象条件の発生時期およびその影響を明らかにするとともに、収量向上への方策を検討した。



第1図 福岡県および佐賀県における平均コムギ収量および作況試験（福岡県：チクゴイズミ，佐賀県：シロガネコムギ）の収量の推移。

材料と方法

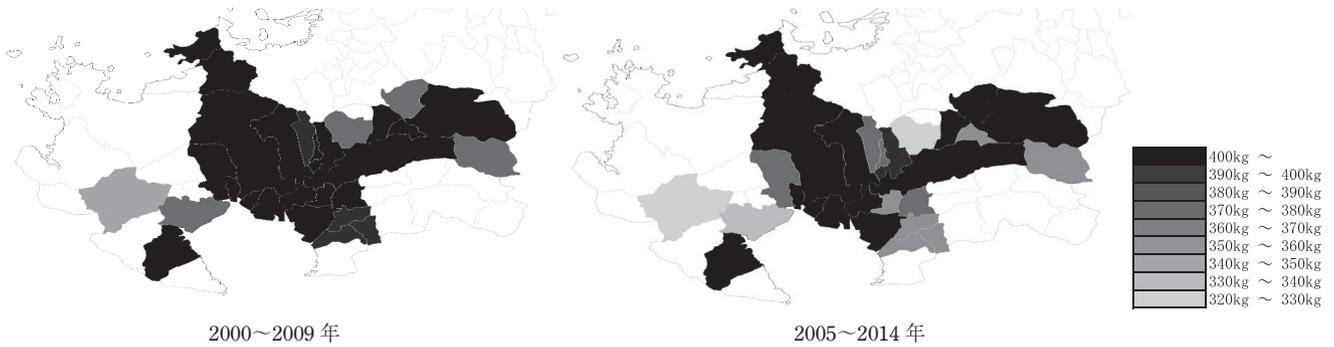
福岡県および佐賀県のコムギの収量データは，農林水産省作物統計の麦類の収穫量（都府県）および市町村別データを用いた（農林水産省 2015）。市町毎の収量データは，2014年のコムギ作付面積の多い方から，福岡県は柳川市，久留米市，みやま市，筑前町，朝倉市，小郡市，筑後市，うきは市，大木町，大川市，糸島市の11市町（福岡県のコムギ作付面積15200 haの80%を含む）を，佐賀県は，佐賀市，小城市，白石町，神崎市，みやき町，武雄市，鳥栖市，鹿島市，吉野ヶ里町の9市町（佐賀県のコムギ作付面積9690 haの93%を含む）を用いた。解析に用いた両県の20市町の作付面積の合計は，両県のコムギ作付面積24890 haの85%を含んでいた。解析期間中の市町村合併に伴う集計単位の変化は，合併した市町村の収穫量と収穫面積を合算して集計した。2014年の栽培品種の構成は，福岡県はシロガネコムギ37%，チクゴイズミ36%，ミナミノカオリ13%，ちくしW2号（ラー麦）8%，ニシホナミ5%，佐賀県はシロガネコムギ62%，チクゴイズミ35%，ミナミノカオリ3%であった。

収量構成要素のデータは，福岡県農林業総合試験場（筑紫野市）のチクゴイズミおよび佐賀県農業試験研究センター（佐賀市）のシロガネコムギの作況調査から，稈長，穂長，穂数，子実重（以下，作況収量），千粒重， m^2 当たり粒数，1穂粒数，1穂当たり子実重，出穂期，成熟期，登熟日数，幼穂形成始期（幼穂形成始期は佐賀県農業試験研究センターのみ）を用いた。 m^2 当たり粒数は m^2 当たりの収量を千粒重で除して求め，幼穂形成期間は幼穂形成始期から出穂期までの日数とした。福岡県農林業総合試験場における栽培法は，播種日は11月20日，1区面積19.6 m^2 の3反復，目標苗立本数150本/ m^2 になるように播種量を設定し，条間25~40 cmの4条ドリル播きで，窒素施肥量は基肥5.0 kg/10 a，追肥1回目4.0 kg/10 a（1月下旬），追肥2回目2.0 kg/10 a（3月上旬）である。佐賀県農業試験研究センターにおける栽培法は，播種日は11月20日，

1区面積40 m^2 の5反復，2000~2006年は播種量約6 kg/10 a，2007~2014年は目標出芽苗立本数120本/ m^2 になるように播種量を設定し（5.1 kg/10 a~7.3 kg/10 a），畦幅75 cmに条間25 cmの2条播きで，窒素施肥量は基肥5.5 kg/10 a，追肥1回目4.5 kg/10 a（1月下旬），追肥2回目4.0 kg/10 a（3月上旬）である。幼穂形成始期の調査は，2月上旬から3~5日間隔で10個体について各個体の地際から葉の先までの長さが長い方から3茎について幼穂長の調査を行い，そのうち30%以上（30検体中9検体以上）の幼穂が1 mm以上に達した日とした。気象データは各市町から最寄りのアメダス地点（久留米，前原，佐賀）の2000~2014年の観測データの旬別の平均気温，降水量，日照時間を用いた。市町のコムギ平均収量は，最近の傾向を反映するため2005~2014年のデータを用いた。相関解析および重回帰分析の統計解析には，「Microsoft Excel 2013」および「R version 3.23」を用いた。

結 果

2000~2014年の福岡県および佐賀県における10 a当たりの平均コムギ収量（以下平均収量）と作況試験の収量（以下作況収量）を第1図に，2000~2009年および2005~2014年の両県の市町毎の平均収量の分布を第2図に示した。15年間の福岡県，佐賀県の平均収量はそれぞれ370 kg，367 kgで，最も多収であった2007年の福岡県の475 kg，2008年の佐賀県の500 kgと比較して，最も低収であった2011年の福岡県の278 kg，2010年の佐賀県の258 kgの減収率は，それぞれ41.5%，48.4%であった。両県の平均収量と作況収量の相関係数は，福岡県平均×佐賀県平均は0.95 ($P<0.01$, $n=15$)，福岡県平均×福岡県作況は0.81 ($P<0.01$, $n=15$)，佐賀県平均×佐賀県作況は0.81 ($P<0.01$, $n=15$)と強い相関を示し，多収年と低収年の傾向はそれぞれ一致していた。市町の平均収量が高い地域は，福岡県筑前町と朝倉市，福岡県糸島市から佐賀県佐賀市，福岡県柳川市および佐賀県鹿島市等に分布し，平均収量が低い地域は佐賀県白石町，武雄市および鳥栖市等に分



2000～2009年 2005～2014年

第2図 福岡県および佐賀県の主要コムギ生産市町における10a当たりの平均コムギ収量。

第1表 福岡県および佐賀県におけるコムギ平均収量と各県の作況試験におけるコムギ収量および収量構成要素との相関係数(2000～2014)。

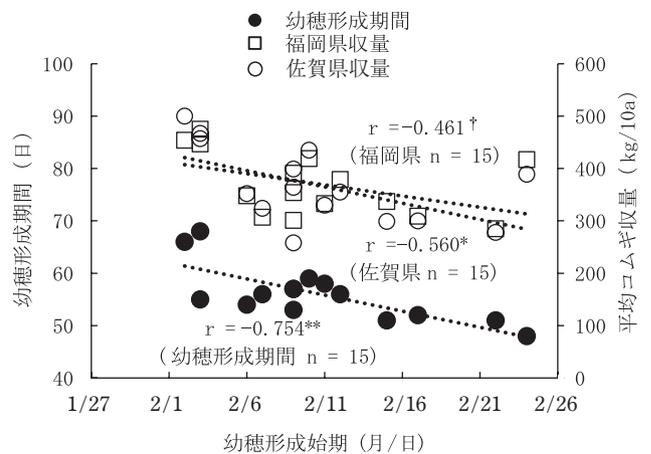
	福岡県平均収量	福岡県作況収量 (チクゴイズミ)	佐賀県平均収量	佐賀県作況収量 (シロガネコムギ)
稈長	0.292	0.505	0.441	0.437
穂長	-0.023	0.403	0.188	0.260
穂数	0.654**	0.748**	0.641**	0.513†
m ² 当たり粒数	0.702**	0.895**	0.818**	0.921**
1穂粒数	0.058	0.429	0.103	0.370
1穂当たり子実重	0.268	0.414	0.225	0.535*
千粒重	0.265	0.077	0.364	0.619**
幼穂形成始期	-0.461†	-0.731**	-0.560*	-0.313
幼穂形成期間	0.534*	0.818**	0.700**	0.560*
出穂期	-0.013	-0.151	0.017	0.219
成熟期	-0.048	-0.104	0.017	0.105
登熟日数	-0.031	0.094	-0.008	-0.221

† P<0.1, *P<0.05, **P<0.01 幼穂形成始期および幼穂形成期間は佐賀県のシロガネコムギにおけるデータ。

布していた(第2図)。

両県の平均収量および作況収量と、収量構成要素(稈長, 穂長, 穂数, m²当たり粒数, 1穂粒数, 1穂当たり子実重, 千粒重, 幼穂形成始期, 幼穂形成期間, 出穂期, 成熟期, 登熟日数)との相関係数を第1表に示した。平均収量および作況収量は、いずれも穂数およびm²当たり粒数と強い正の相関を示した。出穂期, 成熟期および登熟日数と収量との間に有意な相関関係は見られなかった。一方, 幼穂形成始期から出穂期までの幼穂形成期間は、両県の平均収量および作況収量と有意な正の相関を示し(第1表), 幼穂形成始期が早いほど, 幼穂形成期間および平均収量が有意に増加していた(第3図)。

生育期間中の旬別の平均気温と収量および収量構成要素の相関関係を第2表に示した。両県の平均収量, 作況収量, 穂数は、いずれも11月下旬および1月上旬の平均気温と有意な正の相関, 2月下旬の平均気温と有意な負の相関, 5月中旬の平均気温と有意な負の相関を示し, 20市町のうち19市町の平均収量は1月上旬の平均気温と有意な正の相関, 16市町は2月下旬の平均気温と有意な負の相関, 18市町は5月中旬の平均気温と有意な負の相関を示した。1



第3図 幼穂形成始期と幼穂形成期間および福岡県, 佐賀県の平均コムギ収量の関係。† P<0.1, *P<0.05, **P<0.01。

月上旬の平均気温は穂数, m²当たり粒数, 幼穂形成始期および幼穂形成期間と有意な相関, 2月下旬の平均気温は穂数, m²当たり粒数, 1穂重および幼穂形成期間と有意な

第3表 福岡県および佐賀県におけるコムギの収量および収量構成要素と旬別降水量との相関関係 (2000~2014年).

降水量	県の平均収量および作況調査との相関関係 (上段:福岡県, 下段佐賀県)										福岡県および佐賀県のコムギ生産面積上位20市町の平均収量との相関関係 (左側の市町ほど平均収量が高い)																				
	県平均収量	作況	m ² 当穂数	1穂重	1穂粒数	千粒重	出穂期	成熟期	登熟日数	幼穂形成始期	幼穂形成期間	筑前市	佐賀市	朝倉市	柳川市	糸島市	鹿島市	小郡市	大川市	神埼市	久留米市	みやき町	筑後市	吉野ケ里町	小城市	うきは市	みやま市	大木町	白石町	鳥栖市	武雄市
中旬																															
11月																															
下旬																															
上旬																															
12月																															
中旬	(*)	(†)	(†)	(†)							(†)																				
下旬	(*)	(†)	(*)	(†)																											
上旬																															
1月																															
中旬																															
下旬											(†)																				
上旬																															
2月																															
中旬																															
下旬																															
上旬																															
3月																															
中旬																															
下旬																															
上旬																															
4月																															
中旬																															
下旬																															
上旬																															
5月																															
中旬																															
下旬																															
上旬																															
6月																															
中旬																															

† P<0.1, *P<0.05, **P<0.01, ()内は負の相関であることを表す. 幼穂形成始期および幼穂形成期間は佐賀県のシロガネコムギにおけるデータ.

降水量, 日照時間を説明変数として, 変数減少法による重回帰分析を行った. 福岡県では, 平均気温は, 1月上旬, 2月下旬, 5月中旬が採択され, 標準偏回帰係数は, それぞれ0.40, -0.36, -0.32で自由度調整済み決定係数は0.52であった. 降水量は, 12月中旬と4月下旬が採択され, 標準偏回帰係数は, それぞれ-0.57, -0.49で自由度調整済み決定係数は0.43であった. 日照時間は3月上旬のみが採択され, 標準偏回帰係数は0.46で自由度調整済み決定係数は0.15であった. 平均気温, 降水量, 日照時間の全ての変数を用いた場合は, 12月中旬の降水量と3月上旬の日照時間が採択され, 標準偏回帰係数は, それぞれ-0.79, 0.74で自由度調整済み決定係数は0.71であった.

佐賀県では, 平均気温は, 12月下旬, 1月上旬, 2月下旬, 5月中旬が採択され, 標準偏回帰係数は, それぞれ0.29,

0.33, -0.40, -0.31で自由度調整済み決定係数は0.71であった. 降水量は, 12月中旬と3月上旬が採択され, 標準偏回帰係数は, それぞれ-0.62, -0.52で自由度調整済み決定係数は0.45であった. 日照時間は3月上旬のみが採択され, 標準偏回帰係数は0.47で自由度調整済み決定係数は0.16であった. 平均気温, 降水量, 日照時間の全ての変数を用いた場合は, 12月中旬, 3月上旬の降水量, 12月下旬, 2月下旬, 5月中旬の平均気温が採択され, 標準偏回帰係数は, それぞれ-0.21, -0.53, 0.36, -0.16, -0.54で自由度調整済み決定係数は0.87であった. 福岡県および佐賀県の解析において, 説明変数間の多重共線性はいずれも認められなかった.

第4表 福岡県および佐賀県におけるコムギの収量および収量構成要素と旬別日照時間との相関関係 (2000~2014年).

日照時間	県の平均収量および作況調査との相関関係 (上段:福岡県, 下段佐賀県)										福岡県および佐賀県のコムギ生産面積上位20市町の平均収量との相関関係 (左側の市町ほど平均収量が高い)																					
	県平均 均収量	作況 収量	m ² 当 穂数	1穂 重	1穂 粒数	千粒 重	出穂 期	成熟 期	登熟 日数	幼穂 形成 始期	幼穂 形成 期間	筑前 市	佐賀 市	朝倉 市	柳川 市	糸島 市	鹿島 市	小郡 市	大川 市	神埼 市	久留 米市	みや ま市	筑後 市	吉野 ヶ里 町	小城 市	うき は市	みや ま市	大木 町	白石 町	鳥栖 市	武雄 市	
中旬									(†)																							
11月																																
下旬									†	(*)																						
上旬									†	(*)																						
12月																																
中旬										*																						
下旬										*																						
上旬																																
1月																																
中旬									(†)	(†)																						
下旬									(†)	(†)																						
上旬																																
2月																																
中旬									†	†																						
下旬																																
上旬																																
3月																																
中旬																																
下旬																																
上旬																																
4月																																
中旬																																
下旬																																
上旬																																
5月																																
中旬																																
下旬																																
上旬																																
6月																																
中旬																																

† P<0.1, *P<0.05, **P<0.01, () 内は負の相関であることを表す. 幼穂形成始期および幼穂形成期間は佐賀県のシロガネコムギにおけるデータ.

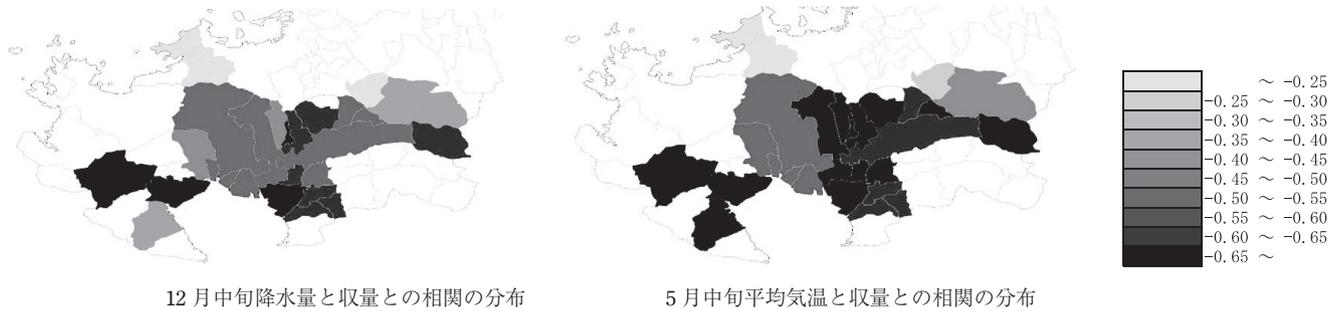
考 察

1. 北部九州における気温と降水量がコムギ収量に与える影響

福岡県および佐賀県の施肥基準資料より, 北部九州におけるコムギの目標収量は, 福岡県のチクゴイヅミは510kg(山麓~一般平坦地)~540kg(平坦肥沃地)/10a(福岡県農林水産部2011), 佐賀県のシロガネコムギは400kg(山麓)~(平坦地)450kg/10a(佐賀県農林水産部2016)とされる. 北部九州のコムギ収量に対して, 収量構成要素の中では穂数およびm²当たり粒数の影響が最も大きく(吉富ら1963, 石丸・波多江1971a), 松村ら(1986)および田中・大隈(1990)は, 播種期~1月中旬の平均気温は茎数と強い相関を示すことを報告している. 本解析は, 穂数は1月

上旬の平均気温と有意な正の相関を示す一方で, 2月下旬の気温とは有意な負の相関を示すことを明らかにした(第2表).

田谷ら(1981)は, 1952~1979年の「農林61号」の解析から12~2月の降水量と穂数の間に有意な負の相関を見出し, 松江ら(2000)は1993~1997年の「農林61号」の解析から12~1月の降水量と収量との間に有意な負の相関を報告した. ビール大麦における1966~1980年の解析においても降水量は穂数および収量と負の相関を示した(浜地・吉田1989). 12月中旬は北部九州のコムギ作で播種後約20~30日の分けつ始期に相当する. 本解析では同時期の多雨は穂数と収量に対して有意な負の相関を示し, 収量の低い市町ほどその影響が大きいことを明らかにした(第2図, 第4図, 第5図).



12月中旬降水量と収量との相関の分布

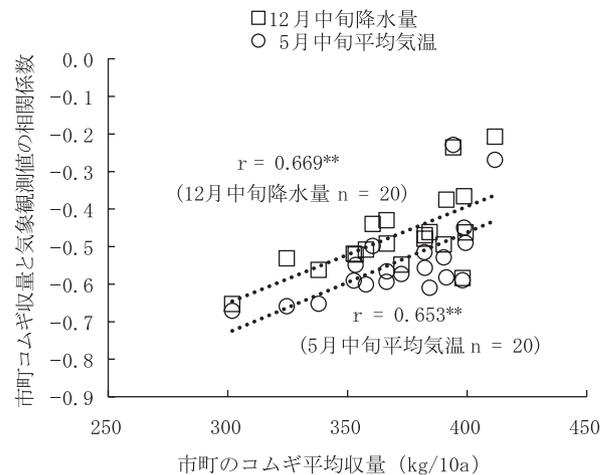
5月中旬平均気温と収量との相関の分布

第4図 福岡県および佐賀県の主要コムギ生産市町におけるコムギ収量と気象観測値との相関係数。

普及指導機関への聞き取り調査の結果、平均収量が比較的高い筑前町や朝倉市は排水性が良好で肥沃な壤土が多く、干拓地が多い柳川市は排水性の悪い粘土質の圃場が多いものの、地域全体で圃場のブロックローテーションを行うなど、排水対策を徹底的に実施することにより高収量を実現している。一方で、平均収量が比較的低い白石町は、干拓地が多く排水性の悪い粘土質の土壌条件に加えて、タマネギ定植作業との競合のためコムギの播種期が遅れる圃場が多いこと、武雄市はコムギの播種期の遅れに加えて雑草発生の多い圃場が見られることが指摘された。北部九州におけるコムギ作では、本暗渠の施工、弾丸暗渠の実施、圃場周囲の作溝、播種時、播種後の畝立て等の排水対策の重要性が従来から喚起されているが（石丸 2014）、平均収量の低い地域では、特に生育初期（分けつ始期）の排水対策を播種前から重点的に行うとともに、適期播種に努める必要があるとみられる。

5月中旬の平均気温は16市町の収量と負の相関を示し（第2表）、12月中旬の降水量と同様に、平均収量が低い地域においてより強い負の相関を示した（第2図、第4図、第5図）。この結果より、生育初期の土壌過湿条件に加えて、登熟期間の後半に高温が発生した場合に大幅な減収が発生すると考えられた。コムギは生育初期に土壌の過湿条件によるストレスを受けると、地下部の生育が阻害されるとともに植物体の活性が低い状態となり、生育の最終段階である登熟期間後半の高温の影響をより強く受けるとみられ、播種が遅れた場合は初期生育が遅延して、その影響がさらに強まる可能性が高い。

5月中旬は北部九州のコムギの登熟期間の後半に相当するが、出穂期から登熟期の高温と土壌過湿条件は、登熟中期以降に急激に枯れ上がる、枯れ熟れ様障害の発生との相関関係が指摘されている（藏重ら 2007）。コムギの枯れ熟れ様障害は、耐性が優れる品種の選択（谷口ら 1996）と、穂揃期以降の追肥により軽減される（荒木ら 2014）ことが報告されており、特に平均収量の低い地域では、適期播種と除草管理を励行するとともに生育期間を通して徹底した排水対策と生育後半の追肥によって、植物体の活性を維持する栽培管理を行うことが重要であると考えられる（第4、5図）。

第5図 福岡県および佐賀県の市町における平均コムギ収量と気象観測値との相関係数の関係。 ** $P < 0.01$ 。

本解析に用いた20市町のうち、平均収量が366 kg/10 a以上の13市町の収量は、3月上旬の降水量と負の相関、3月中旬の降水量と正の相関、4月下旬の降水量と負の相関を示し（第3表）、同様に平均収量が比較的高い11市町の収量は3月上旬の日照時間と正の相関を示した（第4表）。北部九州のコムギは、3月上旬は最高分けつ期、3月中旬は有効茎の決定時期、4月中～下旬は開花期にあたる。一定の収量水準を超える地域では、降水量や日照時間が最高茎数や有効茎の決定および開花期の受粉等に影響を与えていると見られた。変数減少法による重回帰分析の結果、3月上旬の日照時間は福岡県の平均収量の説明変数として、3月上旬の降水量は佐賀県の平均収量の説明変数として採択されており、最高茎数、穂数および稔実率等との関係を今後解析することにより、春季の降水量や日照時間がコムギ収量に与える影響がより明確になると考えられる。

石丸ら（1978）は、九州地方の作況指数が73（171 kg/10 a）と低収であった1976年の気象の特徴について、播種期の降雨による播種遅延、1月上旬～2月上旬の低温、2月中下旬の高温を指摘した。また作況指数が46（152 kg/10 a）の低収となった1998年は、播種期～生育初期および成熟期前に降雨が続き、福岡県では2月中～下旬の平均気温は平年より約4℃高く、登熟期間の平均気温は福岡管区気象

台の観測史上最高を記録したこと（福岡市の5月平均気温偏差+2.3℃、佐賀市の同偏差+2.4℃）が指摘されている（山本ら1999, 松江ら2000）。一方、作況指数が150（393 kg/10 a）の多収となった1984年は、12月下旬～1月上旬が高温で、2月下旬が低温、登熟期間は少雨かつ多照であった（松村ら1985）。また作況指数が133（435 kg/10 a）の多収となった1999年は、播種期から分けつ期まで少雨かつ多照となり、穂数および粒数が確保された（松江ら2001）。過去の北部九州におけるコムギの低収年および多収年における気象条件は、収量に強く影響している12月中旬の降水量および1月上旬、2月下旬、5月中旬の気温の傾向が今回の解析結果とほぼ一致していた。

2. 早播きによるコムギの収量向上の可能性

吉田ら（1969）は、北部九州でコムギ6品種（農林61号、農林26号、ニチリンコムギ、農林34号、農林74号、イヨコムギ）を11月上旬～中旬に播種すると、慣行の11月下旬の播種と比べて収量が6～15%増加することを報告した。福岡県のコムギ品種（農林61号、チクシコムギ、アサカゼコムギ）は、11月上旬～12月中旬の播種では早播きするほど多収を示し（木崎原ら1983）、最大葉面積および乾物生産効率が増加した（松村ら1988）。チクゴイズミも同様に、11月上旬の播種の方が11月下旬の播種よりも葉面積および養分蓄積部位が増大し多収を示した（福馬ら2003）。

豊田ら（2004）は、コムギの小穂および小花の分化期間は日長時間と負の相関を示し、遅まきするほど小穂および小花の分化期間が長日条件になるため、分化小花数の最大値が減少することを報告した。本解析では、幼穂形成始期は2月上旬から下旬までおよそ3週間の幅がみられ、出穂期までの幼穂形成期間および福岡県と佐賀県の平均収量のいずれもと負の相関を示した（第3図）。また11月下旬および1月上旬の平均気温は、穂数、m²当たり粒数、幼穂形成始期、幼穂形成期間および収量と有意に相関し、1月上旬の平均気温は、両県の20市町のうち19市町の収量に有意に影響していた（第2表）。

1月上旬の平均気温が収量と正の相関を示す要因として、穂数を増加させるとともに幼穂形成を早めることにより、幼穂分化が短日条件下で進むため、結果的に小花数が増加することがあげられる（第2表）。実際にチクゴイズミ、イワイノダイチ、さぬきの夢2000は、早播きすることにより分化小花数が増加した（豊田ら2004）。このため、収量が比較的低い地域で指摘された播種の遅れは幼穂形成始期を遅らせて減収の原因となるが、幼穂形成を早めるコムギの早播きは、北部九州の収量向上に向けた有力な手段の一つと考えられる。

一方で低温要求性の低い早生の春播き性品種の播種を早めた場合、幼穂形成が早まるため凍霜害に遭う危険度が高まることが指摘されている（藤田1997）。我が国における

コムギの凍霜害は、東北南部、関東北部、東山地方の内陸部の被害が大き（内島1978a）。コムギは幼穂長2 mm以下では凍霜害を受けることは少ないが、幼穂長が3～5 mmでは-4℃、11～13 mmでは-2℃で凍霜害の発生が認められ、20 mmまでは伸長するほど凍死率が高まる（田島ら1980）。田島ら（1979a, 1979b）は、コムギの幼穂凍死危険年の1898～1978年における出現頻度（幼穂凍死危険期は幼穂長2～3 mmから20 mmの期間とし、危険温度を-2.5℃に設定）を算出した結果、水戸市（68%）、宇都宮市（59%）は高く、熊谷市（34%）、前橋市（24%）は中程度で、筑後市（17%）は最も低かった。一方、本解析を行った2000～2014年における田島ら（1979a, 1979b）のコムギ幼穂凍死危険年の出現頻度を算出した結果、水戸市（53%）、宇都宮市（13%）、熊谷市（0%）、前橋市（0%）、筑後市（0%）で、いずれも過去の報告より低下していた。

早播きによる生育量の確保と凍霜害耐性を両立させるためには、凍霜害耐性と密接に係る茎立期の早晩を最適化する必要がある。凍霜害の発生リスクの高い関東地方では、秋播き性で農林61号よりも茎立期は遅いが出穂期と成熟期が早い、さとのそらが普及した（高橋ら2010）。一方、北部九州のコムギ品種のほとんどは低温要求性の小さい*Vrn-D1* 遺伝子を持ち茎立期が早い。このため、凍霜害耐性と早生を両立させる解決法の一つとして、秋播き性の早生品種であるイワイノダイチが育成された（田谷ら2003）。しかし、イワイノダイチについて早播き栽培を行った結果、開花期の乾物重は増加したものの子実重は春播き性品種と同等の結果であった（福馬2007）。また北部九州のような温暖地では、秋播き性品種は暖冬に出穂が数日遅れることや（藤田1997）、降雨等で播種が遅れた場合は出穂が極端に遅れることから大規模な普及に至っていない。

これまでコムギの節間伸長期以降の凍霜害耐性の品種間差は小さいとされていたが（内島1978b）、最近の報告では、節間伸長期以降に凍霜害が多いアブクマワセ（1穂中の不稔小穂数の割合である不稔穂率が50%以上）、中程度のチクゴイズミ（不稔穂率約30%）、やや少ない農林61号、アサカゼコムギ（不稔穂率15～20%）の品種間差が観察され、秋播き性を導入した系統の凍霜害耐性は春播き性の原品種と変化しないため、秋播き性に依存しない凍霜害耐性の存在が示されている（石丸・田中2011）。北部九州は従来から凍霜害の発生リスクが低いというに、近年はさらにその発生頻度が低下傾向にあることから、コムギの早播き適性の改良には、秋播き性に依存しない凍霜害耐性を利用することが重要と考えられる。

古城ら（1984）は、3月中旬以降の凍霜害を避けるには2月下旬の幼穂長を2～3 mm以下にする必要があり、福岡県における播種の早限は11月5日、播種適期は11月10日頃としたが、現在もそれ以降の播種であれば凍霜害の危険は低いといえる。コムギと水稻との競合については、水稻晩生品種の減少や機械収穫の普及によりコムギの播種期

を前進することが可能となっている（福寫 2007）。現在北部九州で普及しているチクゴイズミやシロガネコムギは凍霜害に対する耐性が比較的優れており、これらの品種を早播きすれば収量向上に結びつくことが期待される。しかしながら、早播きによる生育量の増大に伴い必要施肥量も増加することから、多収栽培を確立するためには、倒伏や施肥不足を避けるための適切な播種量および施肥量を併せて開発する必要がある。また、ダイズの後作で早播きを行う場合は現状よりも早生のダイズ品種を導入する必要がある。天候不順等により播き遅れが発生した場合は収穫期の分散に対応する乾燥調製体制の準備等の課題がある。

2月下旬の平均気温は16市町の収量と負の相関を示し、穂数、 m^2 当たり粒数、幼穂形成期間と有意に関係していた（第2表）。北部九州の2月下旬は、コムギの幼穂長が2~3 mmに成長して先端に頂端小穂原基が形成される時期で、1穂当たりの小穂数を決定する頂端小穂形成期に相当する（福寫 2007）。同時期が高温条件になると幼穂分化の速度が増すことにより分化期間が短縮して分化小花数が減少するため（豊田ら 2004）、結果的に2月下旬の気温は収量および収量構成要素と負の相関を示したと考えられる。

このような粒数に対する気象条件の影響に対しては、コムギの着粒数を増加させる遺伝子の利用が考えられる。近年、オオムギの条性の決定のメカニズムは、二条オオムギで不稔となる側列小穂の雌蕊において *Vrs* 遺伝子が強く発現することにより、側列小花の稔実が抑制されていることが明らかになった（Komatsuda ら 2007）。最近単離されたオオムギと高い相同性を持つコムギ *Vrs1* 遺伝子は、コムギ小穂において不稔となる上位小花で特異的に発現しており、同遺伝子の機能を抑制すると不稔小花が稔性を持ち着粒数が増加することが報告された（佐久間ら 2015）。近年北海道で育成された多収性のコムギ品種きたほなみ（柳沢ら 2007）は、小花のコムギ *Vrs1* 遺伝子の発現量が低く（佐久間ら 2015）、従来品種より1穂粒数が多い（笠島ら 2016）ことが報告されている。チクゴイズミの解析では、1穂当たり平均約120小花が分化するが、その約6割が途中で発育を停止し、開花するのは約50小花、稔実に至るのは約40小花であった（豊田ら 2003）。従って、北部九州のコムギにおいても、着粒数を増加させるコムギ *Vrs1* 遺伝子の利用は、収量向上を実現するための有力な手段となる可能性がある。

3. 登熟特性の改良によるコムギの収量向上の可能性

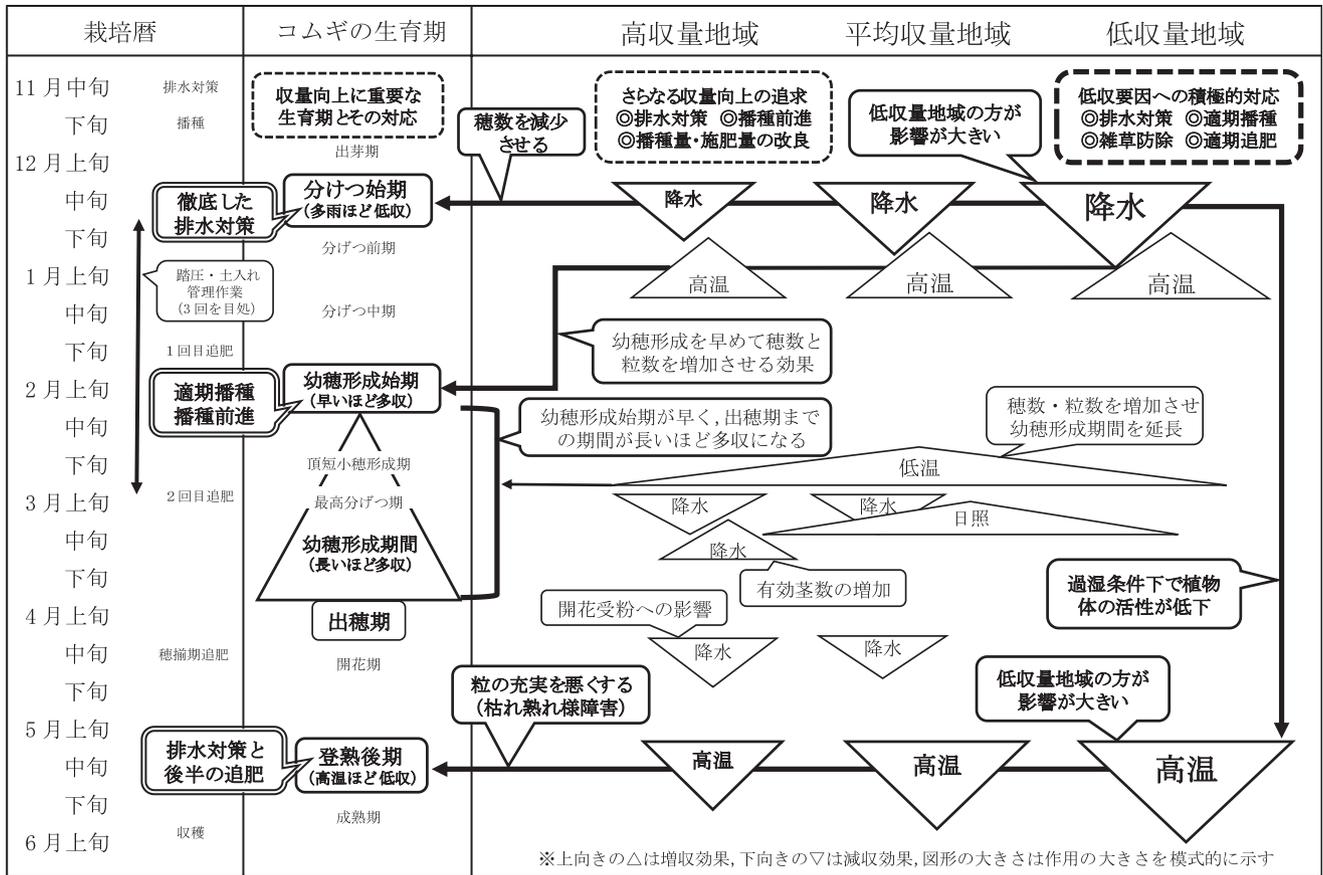
北海道やヨーロッパのコムギ品種では、コムギの登熟期間の気温、登熟期間の長さや千粒重およびコムギ収量の間に関係が報告されており（Gibson and Paulsen 1999, 西尾ら 2011）、登熟期間の長さは登熟期間の平均気温と強い負の相関を示す。しかし、北部九州のチクゴイズミとイワイノダイチの解析では、登熟期間の平均気温と千粒重の間に負の相関関係を認めたが収量に対する効果は認

められず（福寫 2007）、関東地方の農林61号の長期栽培試験においても収量と登熟期間の気温の相関は見られなかった（箕田ら 2015）。本解析においても登熟期間の長さ、千粒重、収量のいずれも登熟期間の気温との相関は認められず、北海道のような登熟期間中の低温による登熟期間の延長および収量向上への効果は認められなかった（第2表）。

この理由の一つとして、北部九州のコムギ作では登熟期間の延長によって収量が増加するメリットよりも、成熟期の遅れによる穂発芽の危険度上昇のデメリットが大きいことがある。北部九州のコムギ品種では新中長、江島神力、福岡小麦18号等の限られた早生の遺伝資源が用いられてきた中で（福永・稲垣 1985）、登熟期間の長さが気温に反応しない品種が選抜されてきた可能性が高いと考えられる。また Shimoda ら（2015）は、北海道のコムギは登熟期間中の平均日照時間が一日当たり4.5時間を下回る場合に気温と収量が負の相関を示し、それ以上の日照時間がある場合は高温による減収が見られないことを明らかにした。本解析に用いた北部九州のアメダス地点（久留米、前原、佐賀）の登熟期間中（4月下旬~5月下旬）の平均日照時間は、全ての解析期間を通して一日当たり平均6時間を超えていたことから、北部九州のコムギの登熟期間は多照条件下にあることも収量と気温との間に相関が見られない要因の一つと考えられた。

北海道では登熟期間全体の平均気温が収量と負の相関を示すのに対して、北部九州では登熟期間のうち5月中旬の平均気温のみが収量と強い負の相関を示した（第2表）。このことは、前述のように北部九州において同時期に発生する枯れ熟れ様障害による影響を示していると考えられる。枯れ熟れ様障害に対しては、耐性が優れる遺伝資源（谷口ら 1996）を積極的に利用するとともに、発生が不安定な現地圃場での選抜に頼る現状から、例えば窒素肥沃度の低い圃場において生育初期を土壌過湿条件で管理し、被覆資材等を利用して5月中旬の高温条件を再現するなど、より確実な選抜手法を早急に確立する必要があると考えられる。

本解析の結果、北部九州のコムギ平均収量の高い地域では、排水対策が積極的に行われていることもあり、多雨や高温による収量への影響が比較的小さく、播種期を前進させることによりさらなる収量向上が期待された。しかし、早播きは生育量を増大させると同時に、必要施肥量が増大して倒伏や施肥不足等のリスクを増すことから、増収効果を安定して発揮させるためには、地域毎に適切な播種量や施肥量を今後確立していくことが必要である。従って、北部九州におけるコムギの収量向上の実現には、まず平均収量の低い地域における収量向上が当面の課題である。北部九州の平均収量の低い地域では、播種期が適期より遅れる圃場が多く、収量が多雨と高温の両方の影響を強く受けていることから、初期生育や幼穂形成の遅延と、圃場の排水不良による過湿条件や施肥不足等が複合的に作用して、コ



第6図 北部九州における地域のコムギ収量で分類した気象条件の影響とその対応。

ムギが非常にストレスを受けやすい状況にあり、生育初期の多雨と登熟後半の高温がそれを助長していると考えられた(第6図)。このため、平均収量の低い地域では、従来から喚起されている基本技術であるが、まず播種前から生育期間全体を通じた排水対策の徹底、適期播種および除草管理の励行、生育後半まで必要な窒素追肥の実施等(第6図)を着実に実施していくことが非常に重要であると考えられる。

謝辞：本稿の取りまとめに当たり、福岡県農林業総合試験場八女分場長古庄雅彦博士、福岡県八女普及指導センター水田農業係長江上修一氏ならびに佐賀県農業試験研究センター作物部三原実氏、秀島好知氏には懇切なご助言とご校閲を頂いた。各位に厚く謝意を表する。

引用文献

荒木英樹・鎌田英一郎・高橋肇 2014. コムギの登熟不良と根系機能の関係. 日作紀 83 (別 1): 464-465.
 藤田雅也 1997. 凍霜害回避型早生コムギに関する育種学的研究. 九州農試報告 32: 1-50.
 福永公平・稲垣正典 1985. 日本のコムギ品種の育成系譜. 育雑 35: 89-92.
 福岡県農林水産部 2011. 福岡県水稲・麦施肥基準. http://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/79791_16420773_misc.pdf (2016/9/1 閲覧).
 福島陽・楠田宰・古畑昌巳 2003. 暖地における早播きした秋播性コ

ムギ「イワイノダイチ」の収量成立要因の解析. 日作紀 72: 149-157.
 福島陽 2007. 暖地で早播き栽培した秋播性早生コムギ品種イワイノダイチの生育特性・収量形成に基づいた栽培技術の開発. 九州沖縄農研報告 48: 125-181.
 Gibson, L.R. and Paulsen, G.M. 1999. Yield component of wheat grown under higher temperature stress during reproductive growth. Crop Sci. 39: 1841-1846.
 浜地勇次・吉田智彦 1989. 暖地のビール大麦の収量と気象条件の関係の統計的解析. 日作紀 58: 1-6.
 波多江政光・石丸治澄 1978. 作況試験からみた昭和52年産小麦の凶作要因の解明. 九州農業研究 40: 35-36.
 石丸治澄・波多江政光 1971a. 九州地域における小麦の作況判定方法に関する解析研究 第1報 収量推定に関する解析. 日作九支報 35: 94-96.
 石丸治澄・波多江政光 1971b. 九州地域における小麦の作況判定方法に関する解析研究 第2報 穂数および稔実粒数推定に関する解析. 日作九支報 36: 67-69.
 石丸治澄・宮川敏男・波多江政光 1978. 1976年産小麦の凶作要因. 日作九支報 44: 43-44.
 石丸知道・田中浩平 2011. 秋播型小麦における凍霜害被害の実態. 日作紀 80(別 1): 84-85.
 石丸知道 2014. 福岡県におけるコムギの多収と品質向上. 日作紀 83(別 1): 460-461.
 笠島真也・今井康太・清水隆大・伊藤博武・中丸康夫・吉田穂積・

- 佐藤三佳子・神野裕信・吉村康弘・高橋肇 2016. 北海道における秋播性コムギ新品種きたほなみとホクシンの生育・収量特性の差異. 日作紀 85:155-161.
- 木崎原千秋・真鍋尚義・今林惣一郎・古城齊一・山田俊雄 1983. 小麦の作期の早期化による作柄安定と増収に関する研究 第1報 早播好適品種. 日作九支報 50: 30-32.
- 古城齊一・真鍋尚義・今林惣一郎 1984. 福岡県における小麦の早播栽培技術 第1報 播種時期と生育・収量. 福岡農総試研報 A-3: 29-34.
- Komatsuda, T., Pourkheirandish M., He, C., Azhaguvel, P., Kanamori, H., Perovic, D., Stein, N., Graner, A., Wicker, T., Tagiri, A., Lundqvist, U., Fujimura, T., Matsuoka, M., Matsumoto, T. and Yano, M. 2007. Six-rowed barley originated from a mutation in a homeodomain-leucine zipper I-class homeobox gene. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 104: 1424-1429.
- 藏重宏史・中司祐典・木村晃司・有吉真知子・高橋肇 2007. 気象条件が小麦枯れ熟れ様障害の発生に及ぼす影響. 日作中支集録 48: 4-5.
- 松江勇次・山口修・佐藤大和・馬場孝秀・田中浩平・古庄雅彦・尾形武文・福島裕助 2000. 1998年における北部九州の麦類不作の要因解析とその技術対策. 日作紀 69: 102-109.
- 松江勇次・陣内暢明・馬場孝秀・岩淵哲也・福島裕助・古庄雅彦 2001. 1999年における北部九州産麦類の多収要因の解析. 日作紀 70: 261-266.
- 松村修・波多江政光・宮川敏男・岐部利幸 1985. 昭和59年度の作況試験にもとづく小麦の生育・収量解析. 日作九支報 52: 73-77.
- 松村修・北川壽・波多江政光・岐部利幸 1986. 小麦の生育収量と気象環境条件 第1報 茎数成立過程における温度の影響. 日作九支報 53: 56-59.
- 松村修・北川壽・下坪訓次 1988. 播種期の違いによる暖地小麦の物質生産と収量の変化. 日作九支報 55: 69-72.
- 箕田豊尚・小林和彦・平沢正 2015. 埼玉県におけるコムギの生育、収量および収量構成要素と気象変動の関係—畑作試験圃場におけるコムギ「農林61号」の45年間の栽培試験に基づく解析—. 日作紀 84: 285-294.
- 西尾善太・伊藤美環子・田引正・中司啓二・長澤幸一・山内宏昭・広田知良 2011. 高温による小麦の減収要因. 北海道農研資料 69: 15-21.
- 農林水産省 2015. 麦類(子実用)の作付面積(全国)及び収穫量(都府県). http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/index.html (2016/9/1 閲覧).
- 佐賀県農林水産部 2016. 佐賀県施肥・病虫害防除・雑草防除のてびき. http://www.pref.saga.lg.jp/kiji00321936/3_21936_15860_up_wkyyz4lk.pdf (2016/9/1 閲覧).
- 佐久間俊・小川泰一・田切明美・金森裕之・呉建忠・Pourkheirandish, M・小松田隆夫 2015. コムギ *Vrs1* 相同遺伝子は稔実小花数を決定する. 育種学研究 17(別2): 54.
- Shimoda, S., Hamasaki, T., Hirota, T., Kanno, H. and Nishio, Z. 2015. Sensitivity of wheat yield to temperature changes with regional sunlight characteristics in eastern Hokkaido. Int. J. Climatol. 35: 4176-4185.
- 杉川陽一 2014. 過去のデータを使った「きたほなみ」の施肥設計法と生育管理ツール: NDAS, makiDAS, T-NDAS. 農家の友 66: 47-49.
- 田島克己・佐藤暁子・池永昇 1979a. 麦類の凍霜害対応技術に関する研究 1. 幼穂凍死危険期及び幼穂凍死危険温度の設定. 日作紀 48(別1): 123-124.
- 田島克己・佐藤暁子・池永昇 1979b. 麦類の凍霜害対応技術に関する研究 2. 北関東、関東内陸部及び北九州における幼穂凍死の危険性. 日作紀 48(別1): 125-126.
- 田島克己・佐藤暁子・池永昇 1980. 麦類の凍霜害対応技術に関する研究 6. 幼穂長及び低温の程度と幼穂凍死率との関係. 日作紀 49(別2): 191-192.
- 高橋利和・大澤実・折茂佐重樹・成塚彰久・斎藤幸雄 2010. 小麦新品種「さとのそら」の育成. 群馬農試研報 7: 1-12.
- 田中浩平・大隈光善 1990. 小麦農林61号の生育に及ぼす気象の影響と生育予測. 福岡農総試研報 A-10: 39-42.
- 谷口義則・氏原和人・藤田雅也・佐々木昭博 1996. 小麦枯れ熟れ様障害耐性の検定方法と品種間差異. 九州農試報告 30: 1-12.
- 田谷省三・荒木均・野中舜二 1981. コムギ「農林61号」の収量および諸形質に及ぼす気象条件の影響. 日作九支報 48: 15-18.
- 田谷省三・塔野岡卓司・関昌子・平将人・堤忠宏・氏原和人・佐々木昭博・吉川亮・藤田雅也・谷口義則・坂智広 2003. 小麦新品種「イワイノダイチ」の育成. 九州沖縄農研報告 42: 1-18.
- 豊田正範・楠谷彰人・浅沼興一郎 2003. 温暖地におけるコムギ主茎の葉、小穂および小花の分化数成立過程のモデル解析. 日作紀 72: 450-460.
- 豊田正範・小林洋介・三好祐介・安村直子・楠谷彰人・浅沼興一郎 2004. 播種期によるコムギ主茎の葉、小穂および小花の分化数成立過程の変異. 日作紀 73: 10-17.
- 内島立郎 1978a. ムギ類の凍霜害(1) 被害と発生. 農及園 53: 545-548.
- 内島立郎 1978b. ムギ類の凍霜害(2) 被害と発生要因. 農及園 53: 653-658.
- 山本晴彦・岩谷潔・鈴木賢士・鈴木義則・平嶋隆祥・濱野貴志 1999. 九州・山口地方における多雨・高温に伴う1998年産麦の被害実態. 日作紀 68: 310-315.
- 柳沢朗・吉村康弘・天野洋一・小林聡・西村努・中道浩司・荒木和哉・谷藤健・田引正・三上浩輝・池永充伸・佐藤奈奈 2007. 秋まきコムギ新品種「きたほなみ」の育成. 北海道立農試集報 91: 1-13.
- 吉田美夫・北原操一・鶴政夫 1969. 小麦のは種適期と作季の移動について. 九州農業研究 31: 51-52.
- 吉富研一・中路富士夫・山本栄 1963. 麦類の収量成立型について 第1報 小麦における穂数成立について. 日作九支報 20: 50-52.
- 吉富研一・中路富士夫・山本栄 1964. 麦類の収量成立型について 第2報 小麦の発生茎数による作柄診断. 日作九支報 21: 28-29.

Wheat Yield Increasing Measures Based on the Relationships of Growth Climate Conditions in Northern Kyushu : Zenta NISHIO^{1,2)}, Osamu UCHIKAWA³⁾, Hiroyasu NISHIOKA⁴⁾, Tomohiko SUGITA²⁾, Midori OKAMI²⁾, Hitoshi MATSUNAKA²⁾, Takuji TONOOKA²⁾ and Kazuhiro NAKAMURA²⁾ (¹⁾ *Tokyo Univ. of Agriculture, Atsugi 243-0034, Japan*; ²⁾ *NARO Kyushu-Okinawa Agricultural Research Center*; ³⁾ *Fukuoka Prefectural Agriculture and Forestry Research Center*; ⁴⁾ *Saga Prefectural Agriculture Research Center*)

Abstract : We analyzed the correlation of wheat yields with climate conditions in Northern Kyushu from 2000 to 2014. The yield of wheat seeded at the standard date (November 20) was 1) negatively correlated with precipitation in mid-December (beginning of tillering stage), 2) positively correlated with temperature in early-January (early tillering stage), 3) negatively correlated with temperature in late-February (terminal spikelet formation stage), and 4) negatively correlated with temperature in mid-May (late maturing stage). Precipitation in mid-December and temperature in mid-May showed a stronger negative correlation with the yield in lower yield areas, indicating that a combination of wet damage at the early growing stage and heat damage at the late maturing stage results in a significant yield reduction. Higher temperatures in early January increased spike number and hastened the time of spike formation stage which extended the duration to heading and increased the yield. Thus, we considered that wheat yield in Northern Kyushu as 1) effective field drainage before planting, 2) seeding after November 5 to 10 to avoid frost damage and to accelerate spike formations, 3) effective field drainage and topdressing in all growing stages to sustain plant activity. Further yield increase should be achieved by improvement of frost tolerance other than winter habit, utilization of wheat *Vrs1* gene that increases grain number, and the improvement of dual tolerance to wet and heat damage in addition to the tolerance to pre-harvest sprouting and grain discoloration by rain.

Key words : Crop situation, Duration of sunshine, Northern Kyushu, Precipitation, Temperature, Wheat, Yield.
