

## 2000年以降の北部九州におけるコムギ収量を低下させる降水パターン

西尾善太<sup>1)</sup>・三原実<sup>2)</sup>・秀島好知<sup>2)</sup>・広田知良<sup>3)</sup>

(<sup>1)</sup> 東京農業大学農学部, (<sup>2)</sup> 佐賀県農業試験研究センター, (<sup>3)</sup> 九州大学大学院農学研究院環境農学部)

**要旨**：2000年以降の北部九州のコムギの10 a当たり収量は、2007～08年に約500 kgであったが、2010～11年に約300 kgまで減少し、2021～22年は再び約500 kgに回復した。そこで、気象条件がコムギ収量に与える影響について2000～2022年の23年間を対象として日単位の詳細な解析を行った。筑紫平野のコムギ収量を目的変数として重回帰分析を行った結果、12月10～21日および4月12～23日の降水量および2月17～3月1日の日照時間の合計3つの気象条件が5%水準で有意な説明変数として選択された。それぞれの標準偏回帰係数は、12月10～21日の降水量が-0.357、4月12～23日の降水量が-0.433、2月17～3月1日の日照時間が0.407で、自由度調整済みの重相関係数は0.826、決定係数は0.682であった。12月10～21日および4月12～23日の降水量はシンクサイズを制限しており、前者は穂数と1 m<sup>2</sup>当たり粒数、後者は千粒重を低下させていた。2月17～3月1日の日照時間は、節間伸長が盛んな莖立期であるため、シンクおよびソースサイズの決定に関わるとみられた。北部九州のコムギで安定した多収を達成するには、12月と4月の2つの特定時期の降水によるシンクサイズの制限を回避することが重要である。

**キーワード**：コムギ, 北部九州, 水田作, 湿害, 収量構成要素, 気温, 降水量, 日照時間。

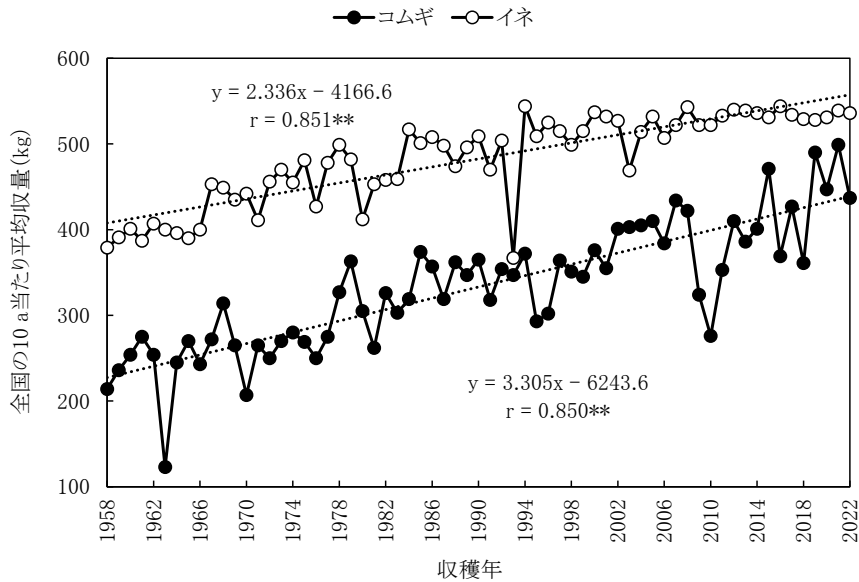
我が国の主食であるイネ（コメ）の年間の一人当たり消費量は、ピークの1965年は111.7 kgであったが、2022年は50.9 kgと半分以下に減少した。その一方、パン、ラーメン、うどんや菓子などの幅広い食品の原料となるコムギの消費量は、同時期に29.0 kgから31.7 kgへ微増しており、主要穀物の中で存在感を増している。しかし、我が国はコムギの需要の80%以上を輸入に依存しており、近年の気象被害の頻発や海外情勢の不安定化から、コムギの国内自給力の強化が求められている。

国内のイネやコムギの単収（10 a当たりの収量）は、多収品種の登場や栽培技術の向上により増加傾向にある。作物統計の詳細なデータが得られる1958年から2022年までの約60年間の全国のイネとコムギの一年当たりの平均単収の増加量は、イネが約2.3 kg、コムギが約3.3 kgで、コムギの方が約1 kg多い（農林水産省2022）（第1図）。60年前のコムギの単収はイネの約半分であったが、2021年は、イネの539 kgに対してコムギは499 kgに迫っている。近年は愛知県のように、2019～2022年のコムギの平均単収（529 kg）が、イネの平均単収（498 kg）を4年間連続して上回る地域も現れた。

近年の我が国におけるイネの単収の増加は鈍化しているが、その変動幅は減少している。例えば、2001～2010年と、2011～2020年の各10年間のイネの全国平均単収は、それぞれ519 kg、535 kgであるが、標準偏差は、20.2 kgから5.2 kgに縮小した。一方、コムギはイネと比べて自給率が低いだけでなく、収量の変動が大きい。同時期のコムギの全国平均単収は、381 kg、412 kgと増加したが、標準偏差は49.2 kg、46.8 kgであった。また、全国で広く栽培される

イネと比べて、コムギの栽培が盛んな地域は、北海道、北関東、東海、北部九州地方等に集中しており、地域的な気象の影響を受けやすい。したがって、国産コムギの安定生産には、これらの産地における収量変動の要因を解明する必要がある。

北海道に次ぐコムギの産地である北部九州の福岡県と佐賀県は、水田率がそれぞれ80.6%と82.7%で、他産地の愛知県の56.7%や北海道の19.4%、また全国平均の54.4%と比べてかなり高い（農林水産省2022）。また、両県の耕地利用率（耕地面積を100とした作付け延べ面積の割合：田のみ）は、佐賀県が全国1位の144.5%、福岡県は同2位の123.7%で、夏作のイネまたはダイズと、冬作のコムギまたはオオムギを組合せた二毛作（一年二作または二年三～四作の水田輪作）が盛んである。最近の北部九州におけるイネの作付面積に対するコムギの割合は増加している。福岡県と佐賀県のイネに対するコムギの割合は、1981～2000年の29.4%と21.8%から、2001～2020年はそれぞれ37.7%、38.9%に増加した。一方、北部九州のコムギ生産の課題は、イネと比べて収量が不安定なことである。北部九州のコムギ単収は、2007～2008年に北海道を上回る約500 kgを記録したが、2010～2011年に約半分の300 kg以下に落ち込み、2020年以降は再び回復傾向にある。北部九州は、年間を通して降水量が多い上に、梅雨入りが早くコムギの収穫期に重なるため、赤かび病や、収穫期の降雨による穂発芽の被害を受けやすい。しかし、前述の年次において、これほど大きな収量の低下を説明できるような病害や穂発芽の発生は報告されておらず、その主たる原因は不明であった。



第1図 我が国におけるコムギとイネの10 a 当たり全国平均収量の推移 (1958~2022年).

\*\*  $P < 0.01$

西尾ら (2017) は 2000~2014 年, Nishio ら (2019) は, 2000~2016 年までの北部九州のコムギ収量に影響を与える気象条件の影響を解析した. その結果, 北部九州のコムギ収量には, 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~3 月上旬の気温との負の相関および日照時間との正の相関, ④登熟期後半の 5 月中旬の気温との負の相関が大きく影響していることを報告した. その後, 世界的に温暖化が進む中で, 北部九州のコムギ単収は 2021~2022 年に約 500 kg まで回復したが, なぜ再び多収となったのかその要因は明らかにされていない. そこで本研究は, 北部九州のコムギ収量に気象条件が与える影響について, 1) コムギの収量変動する要因を解明して安定生産の方向性を示すこと, 2) コムギにおける気候変動への適応策を最新の気象反応を用いて明らかにすることを目的として, 2000~2022 年の 23 年間のコムギ収量と気象データを用いて解析を行った. 今回得られた知見より, 北部九州のコムギ収量を制限している気象の影響を緩和する方策や, 気象の影響を受けにくい新品種の開発につながる事が期待される.

## 材料と方法

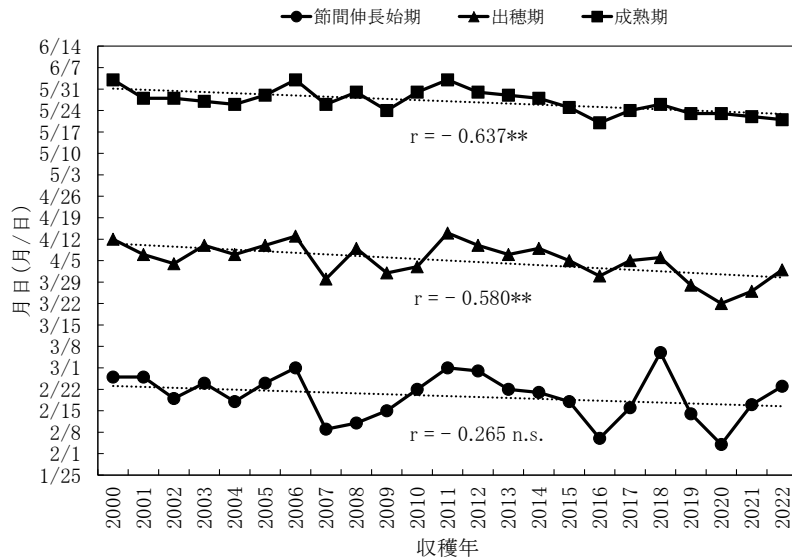
### 1. コムギ収量および収量構成要素データ

本研究におけるコムギ収量と気象データの解析は, 北部九州のコムギの主産地である筑後川流域の福岡県と佐賀県に広がる筑紫平野を対象とした. 解析対象とした筑紫平野の自治体は, 解析期間中の平均コムギ単収の高い順に, 柳川市, 佐賀市, 大川市, 筑前町, 大町町, 江北町, 筑紫野市, 朝倉市, 神崎市, 筑後市, みやま市, 鹿島市, 小郡市, 吉野ヶ里町, 上峰町, 大木町, 久留米市, 小城市, みやま市,

大刀洗市, 基山町, 白石町, うきは市, 嬉野市, 鳥栖市, 多久市, 武雄市の 27 市町である. なお, 解析期間中の平均コムギ作付面積の多い順は, 柳川市, 久留米市, 佐賀市, 小城市, 白石町, みやま市, 神崎市, 朝倉市, 筑前町, みやま市, 小郡市, 筑後市, 武雄市, うきは市, 大木町, 大川市, 鳥栖市, 鹿島市, 大刀洗町, 吉野ヶ里町, 嬉野市, 上峰町, 筑紫野市, 多久市, 大町町, 江北町, 基山町である. 自治体毎のコムギ収量は, 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. 解析期間はコムギの収穫年で 2000~2022 年の 23 年間とした. 解析期間におけるこれらの市町の平均コムギ作付面積の合計は 22391 ha で, 福岡県および佐賀県の平均コムギ作付面積の合計の 25481 ha のうち 87.9% を占めた. この間の筑紫平野における主要なコムギ品種は, 「シロガネコムギ」と「チクゴイヅミ」である. 穂数や千粒重などの収量構成要素のデータは, 佐賀県農業試験研究センター (以下, 佐賀農試) の作況試験における「シロガネコムギ」のデータを用いた. 作況試験調査データのうち, 2018 年の穂数は局所的な生育不良によると見られる大幅な減少が見られたため, 解析から除外した.

### 2. 気象データと統計解析

気象データは筑紫平野に位置するアメダス地点 (佐賀, 久留米, 太宰府, 朝倉, 大牟田, 白石, 嬉野, 柳川) の観測データから, 平均気温, 降水量, 日照時間の平均値を用いた. 北部九州のコムギの生育期間の気象条件 (平均気温, 降水量, 日照時間) とコムギの収量構成要素の統計解析には, Microsoft Excel 2021, エクセル統計 Version 4.04 および EZR 1.6.1 (Kanda 2013) を用いた. 気象条件とコムギ収量または収量構成要素が最も強い相関を示す時期の特定に



第2図 解析期間における佐賀県作況のコムギの節間伸長始期、出穂期、成熟期の推移。

\*\*  $P < 0.01$ , n.s.: 5%水準で有意ではない

は、北部九州のコムギの生育時期に当たる11月から6月までの旬別および5日間から15日間の任意の日数の平均気温、平均降水量、平均日照時間との移動相関係数をすべて求め、相関関係が最大となる時期と日数をそれぞれ特定した。コムギ収量を複数の気象条件から求める重回帰分析における説明変数の選択は、ステップワイズ法で5%の有意水準により決定した。本稿では5%水準または1%水準で有意な相関について、有意な相関と記す。

## 結 果

### 1. 北部九州のコムギ収量と収量構成要素の関係

解析期間におけるコムギの節間伸長始期、出穂期、成熟期の推移を第2図に示した。2000～2022年の出穂期および成熟期と年次は有意な負の相関を示し、5年間の移動平均はそれぞれ、約7日、約4日前進していた(第2図)。2000～2022年の23年間の佐賀農試における作況調査の項目と、筑紫平野の自治体毎の作物統計のコムギ収量との相関関係を第1表に示した。筑紫平野の複数の自治体のコムギ収量と有意な相関を示した作況調査の項目は、上麦重(2.0 mmの縦目篩で選別後の子実重)、穂数、千粒重、1 m<sup>2</sup>当たり粒数、幼穂形成始期、幼穂形成始期～節間伸長始日数、幼穂形成始期～出穂日数、1月20日の茎数および2月20日の茎数であった。作況調査の上麦重は、筑紫平野のすべての自治体の作物統計収量と5%水準で有意な相関を示した。収量構成要素のうち、1 m<sup>2</sup>当たり粒数は筑紫平野の27自治体のうち25自治体の収量と有意な相関を示し、千粒重は17自治体の収量と有意な相関を示した。幼穂形成期から節間伸長始期までの日数は、6自治体の収量と有意な正の相関を示した。穂数は9自治体で収量と有意な正の相関を示した。一方、1月20日～3月20日まで約20日毎に調査を行った茎数のうち、筑紫平野の平均コムギ収量

と最も強い相関を示した2月10日の茎数( $r = 0.432$ ,  $n = 23$ ,  $P < 0.05$ )は14自治体で収量と有意な正の相関を示し、次いで1月20日の茎数が5自治体の収量と有意な相関を示した。3月以降の茎数および草丈と稈長および穂長は、いずれの自治体の収量とも有意な相関を示さなかった。半数以上の自治体において、幼穂形成始期が早いほど、また幼穂形成始期から茎立期および出穂期までの日数が長いほど、コムギ収量が増加する傾向が見られた(第1表)。作況調査で解析した収量構成要素とそれぞれの自治体のコムギ収量の相関関係は、各自治体の収量の高低との一定の関係は認められなかった。

### 2. 北部九州のコムギ収量と気象条件の関係

筑紫平野のコムギ収量と気象条件の関係について、2000～2022年の23年間の旬別の平均気温、降水量および日照時間と自治体毎の作物統計収量との相関関係を第2表に示した。筑紫平野の複数の自治体のコムギ収量との間で有意な相関関係が見られた気象条件は、3月下旬の平均気温、12月中旬および4月中旬の降水量、11月中旬、2月下旬、4月中旬の日照時間であった。平均気温がコムギ収量と有意な相関を示した時期は3月下旬のみで、12の自治体のコムギ収量と有意な正の相関を示した(第2表A)。降水量は2つの時期においてコムギ収量と有意な負の相関を示した。12月中旬の降水量は4つの自治体の収量および作況調査の上麦重との有意な負の相関を示し、4月中旬の降水量は、16自治体および筑紫平野の平均収量と有意な負の相関を示した(第2表B)。日照時間は3つの時期においてコムギ収量と有意な正の相関を示し、播種前の11月中旬は12自治体の収量と、2月下旬は6自治体の収量と、4月中旬は4自治体の収量と有意な正の相関を示した(第2表C)。低収の地域においては、コムギ収量と12月中旬

第1表 佐賀農試のコムギ作況調査データと筑紫平野の自治体毎の平均コムギ収量との相関関係.

| 筑紫平野の自治体 | 平均コムギ収量 (kg/10 a) | 上麦重 | 稈長 | 穂長 | 穂数 | 千粒重 | 1m <sup>2</sup> 当たり粒数 | 幼穂形成初期 | 幼穂形成初期～節間伸長初期日数 | 幼穂形成初期～出穂期日数 | 出穂期 | 登熟日数 | 成熟期 | 1/20 茎数 | 2/10 茎数 | 3/1 茎数 | 3/19 茎数 | 1/20 草丈 | 2/10 草丈 | 3/1 草丈 | 3/19 草丈 |   |
|----------|-------------------|-----|----|----|----|-----|-----------------------|--------|-----------------|--------------|-----|------|-----|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---|
| 筑紫平野平均   | 379               | **  |    |    | †  | *   | **                    | (†)    | †               |              |     |      |     | †       | *       |        |         |         |         |        |         |   |
| 柳川市      | 405               | **  |    |    | †  | *   | **                    | (*)    | †               |              | (†) |      |     | *       | *       |        |         |         | †       | †      | †       |   |
| 佐賀市      | 404               | **  |    |    | *  | *   | **                    | (†)    | †               | †            |     |      |     | †       | *       |        |         |         |         |        |         |   |
| 大川市      | 397               | **  |    |    | †  |     | *                     | (†)    |                 |              |     |      |     | *       | *       |        |         |         | †       | †      |         |   |
| 筑前町      | 395               | **  |    |    |    | **  | †                     |        |                 |              |     |      |     |         |         |        |         |         |         |        |         |   |
| 大町町      | 393               | **  |    |    |    | †   | *                     | (†)    | *               | †            |     |      |     | †       | †       |        |         |         |         |        |         |   |
| 江北町      | 392               | **  |    |    |    | *   | **                    |        |                 |              |     |      |     |         |         |        |         |         |         |        |         |   |
| 筑紫野市     | 390               | **  |    |    | *  |     | *                     |        | †               | †            |     |      |     |         |         | †      |         |         |         |        |         |   |
| 朝倉市      | 389               | **  |    |    |    | **  | *                     |        |                 |              |     |      |     |         |         |        |         |         |         |        |         |   |
| 神埼市      | 387               | **  |    |    | *  | **  | **                    |        | †               |              |     |      |     | †       | *       |        |         |         |         |        |         |   |
| 筑後市      | 383               | **  |    |    |    | *   | **                    | (*)    | †               |              |     |      |     | †       | *       |        |         |         |         |        |         | † |
| みやき町     | 381               | **  |    |    | †  | *   | *                     | (†)    | **              | *            |     |      | †   | †       | *       |        |         |         |         |        |         |   |
| 鹿島市      | 381               | **  |    |    |    | *   | **                    |        |                 |              |     |      |     |         |         |        |         |         |         |        |         |   |
| 小郡市      | 381               | **  |    |    | †  | *   | **                    |        |                 |              |     |      |     |         |         |        |         |         |         |        |         |   |
| 吉野ヶ里町    | 381               | **  |    |    | †  | **  | *                     | (†)    | *               |              |     |      |     | *       | *       |        |         |         |         |        |         |   |
| 上峰町      | 379               | *   |    |    |    | *   | †                     | (†)    | **              | *            |     |      |     | *       | *       |        |         |         |         |        |         |   |
| 大木町      | 375               | **  |    |    | *  |     | *                     | (†)    | *               |              |     |      |     | *       | **      | †      |         |         |         |        |         |   |
| 久留米市     | 375               | **  |    |    | *  | *   | **                    |        |                 |              |     |      |     |         |         |        |         |         |         |        |         |   |
| 小城市      | 371               | **  |    |    | *  | †   | **                    |        |                 | †            |     |      |     | †       | *       | †      |         |         |         |        |         |   |
| みやま市     | 368               | **  |    |    | *  | †   | **                    | (†)    |                 |              |     |      |     | †       | *       |        |         |         |         |        |         |   |
| 大刀洗町     | 364               | **  |    |    |    | *   | **                    |        |                 |              |     |      |     |         |         | †      |         |         |         |        |         |   |
| 基山町      | 356               | **  |    |    | †  | †   | **                    | (†)    |                 |              |     |      |     | †       | *       |        |         |         |         |        |         |   |
| 白石町      | 355               | **  |    |    | †  | †   | **                    | (*)    | *               | *            |     |      |     | †       | †       |        |         |         |         |        |         |   |
| うきは市     | 354               | **  | *  |    | †  | **  | **                    | (†)    |                 |              |     |      |     |         | †       |        |         |         |         | †      | †       |   |
| 嬉野市      | 352               | **  |    |    |    | *   | **                    | (†)    |                 |              |     |      |     |         |         |        |         |         |         |        |         |   |
| 鳥栖市      | 327               | **  | †  |    | ** |     | **                    | (†)    |                 | †            |     |      | †   | †       | *       | †      |         |         |         |        | †       |   |
| 多久市      | 316               | **  |    |    |    | *   | *                     | (†)    | †               |              |     |      |     |         | †       |        |         |         |         |        |         |   |
| 武雄市      | 316               | **  |    |    | *  |     | **                    | (*)    | †               | *            |     |      |     | †       | *       |        |         |         |         |        |         | † |

\*\* P < 0.01, \* P < 0.05, † P < 0.1, () 内は負の相関であることを示す. 自治体の並び順は2000~2022年の平均コムギ収量の順番とした.

の降水量が強い負の相関を示す傾向が見られ (第2表 B), 多収の地域においては, コムギ収量と11月中旬および4月上~中旬の日照時間が強い正の相関を示す傾向が見られた (第2表 C). コムギ収量と有意な相関を示した気象条件のうち, 平均気温と日照時間はすべての時期においてコムギ収量と正の相関を示し, コムギの成長を促進した. 一方, 降水量はコムギ収量と負の相関を示し, コムギの成長を抑制した. 北部九州地方のコムギは, 排水条件の劣る水田作で栽培されるため, 収量に対する降水量の負の影響が顕著に発生しやすいと考えられる.

降水量がコムギ収量と強い負の相関を示した12月中旬と4月中旬は, それぞれ北部九州のコムギの出芽直後の生育初期と開花期~登熟初期に相当する. そこで次に, 降水量とコムギ収量の関係を詳細に解析するため, 降水量がコムギ収量に影響を与える時期を日単位で特定することを試みた. 2000~2022年の23年間の12月および4月の任意の日数の積算降水量と, 筑紫平野の平均コムギ収量, それか

ら主要な収量構成要素である穂数および千粒重について移動相関係数を解析した. 筑紫平野の12月の任意の日数の積算降水量とコムギ収量の移動相関係数を比較した結果, コムギ収量は12月10~21日の12日間の積算降水量と最も強い相関を示した ( $r = -0.652, n = 23, P < 0.01$ ) (第3図 A, B). 同様に4月の積算降水量についても解析した結果, 筑紫平野の平均コムギ収量は, 4月12~23日の12日間の積算降水量と最も強い負の相関を示した ( $r = -0.592, n = 23, P < 0.01$ ) (第3図 C). また, 収量構成要素の穂数および1m<sup>2</sup>当たり粒数は, 平均コムギ収量と同様に, 12月10~21日の12日間の積算降水量と最も強い負の相関を示した ( $r = -0.550, n = 23, P < 0.01$ ) (第3図 B). 一方, 千粒重は4月12~23日の12日間の積算降水量と最も強い負の相関を示した ( $r = -0.599, n = 23, P < 0.01$ ) (第3図 C). さらに, 12月10~21日と4月12~23日を合計した1日当たりの平均降水量は, 筑紫平野の平均コムギ収量とかなり強い負の相関を示した ( $r = -0.725, n = 23, P <$

第2表 筑紫平野の旬別の平均気温、降水量および日照時間と佐賀農試のコムギ作況調査データおよび自治体毎の平均コムギ収量との相関関係。(A) 平均気温との相関

| 平均気温          | 11月中 | 11月下 | 12月上 | 12月中 | 12月下 | 1月上  | 1月中  | 1月下 | 2月上  | 2月中 | 2月下  | 3月上  | 3月中  | 3月下  | 4月上  | 4月中 | 4月下 | 5月上 | 5月中 | 5月下 | 6月上 |      |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 上麦重           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 稈長            |      |      |      |      |      |      | *    |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (*)  |
| 穂長            |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 穂数            |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (**) |
| 有効茎歩合         |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (†)  |
| 千粒重           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     | (†) |     |     |     |     | (*)  |
| 1㎡当たり粒数       |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (†)  |
| 出芽期           | (*)  | (**) | (*)  |      |      | (†)  |      |     |      |     | (*)  |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 播種～出芽迄日数      | (**) | (**) | (*)  |      |      | (†)  |      |     |      |     | (†)  |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 幼穂形成始期        | (†)  | (*)  | (†)  | (**) | (**) | (**) | (*)  |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (*)  |
| 幼穂形成始期～節間伸長始期 |      |      | †    |      |      |      |      |     |      |     | (†)  | (†)  |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 幼穂形成始期～出穂期    |      |      | *    | *    | **   | **   |      |     |      |     |      | (**) |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (†)  |
| 節間伸長開始期       | (*)  |      | (**) | (**) | (*)  |      | (*)  | (*) | (**) |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (†)  |
| 節間伸長式～出穂期     |      |      | †    | *    | *    |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (*)  |
| 出穂期           | (*)  |      | (*)  |      |      |      | (**) | (*) | (**) |     | (**) | (**) | (**) | (**) |      |     |     |     |     |     |     | (*)  |
| 登熟日数          |      |      |      |      |      |      | **   | *   | *    | **  | **   | **   | *    |      |      |     |     |     |     |     |     | (*)  |
| 成熟期           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (†)  |
| 1/20 茎数       | **   | **   | **   | †    | *    | *    |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 2/10 茎数       | *    | *    | **   |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 3/1 茎数        |      |      | *    |      |      |      |      |     |      |     |      | (†)  |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (†)  |
| 3/19 茎数       |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      | (†)  |      |      | (**) | (†) |     |     |     |     |     | (†)  |
| 1/20 草丈       |      |      | †    | **   | **   | *    |      |     |      |     | †    |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |
| 2/10 草丈       |      | †    | **   | **   | *    |      | *    | *   | **   |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 3/1 草丈        | *    |      | †    | *    |      |      | *    | **  | **   | *   | *    |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 3/19 草丈       |      | †    | *    | *    |      |      | **   | **  | **   | *   | *    | *    | *    | *    |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 筑紫平野平均        |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |
| 柳川市           |      |      |      |      |      |      | *    |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | **   |
| 佐賀市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 大川市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 筑前町           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (*)  |
| 大町町           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |
| 江北町           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 筑紫野市          |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 朝倉市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (†)  |
| 神埼市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |
| 筑後市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| みやき町          |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 鹿島市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 小郡市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | (†)  |
| 吉野ヶ里町         |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 上峰町           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |
| 大木町           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |
| 久留米市          |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 小城市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| みやま市          |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 大刀洗町          |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | **   |
| 基山町           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |
| 白石町           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | **   |
| うきは市          |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |
| 嬉野市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 鳥栖市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †    |
| 多久市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |
| 武雄市           |      |      |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | *    |

\*\* P &lt; 0.01, \* P &lt; 0.05, † P &lt; 0.1, () 内は負の相関であることを示す。自治体の並び順は2000～2022年の平均コムギ収量の順番とした。

## (B) 降水量との相関

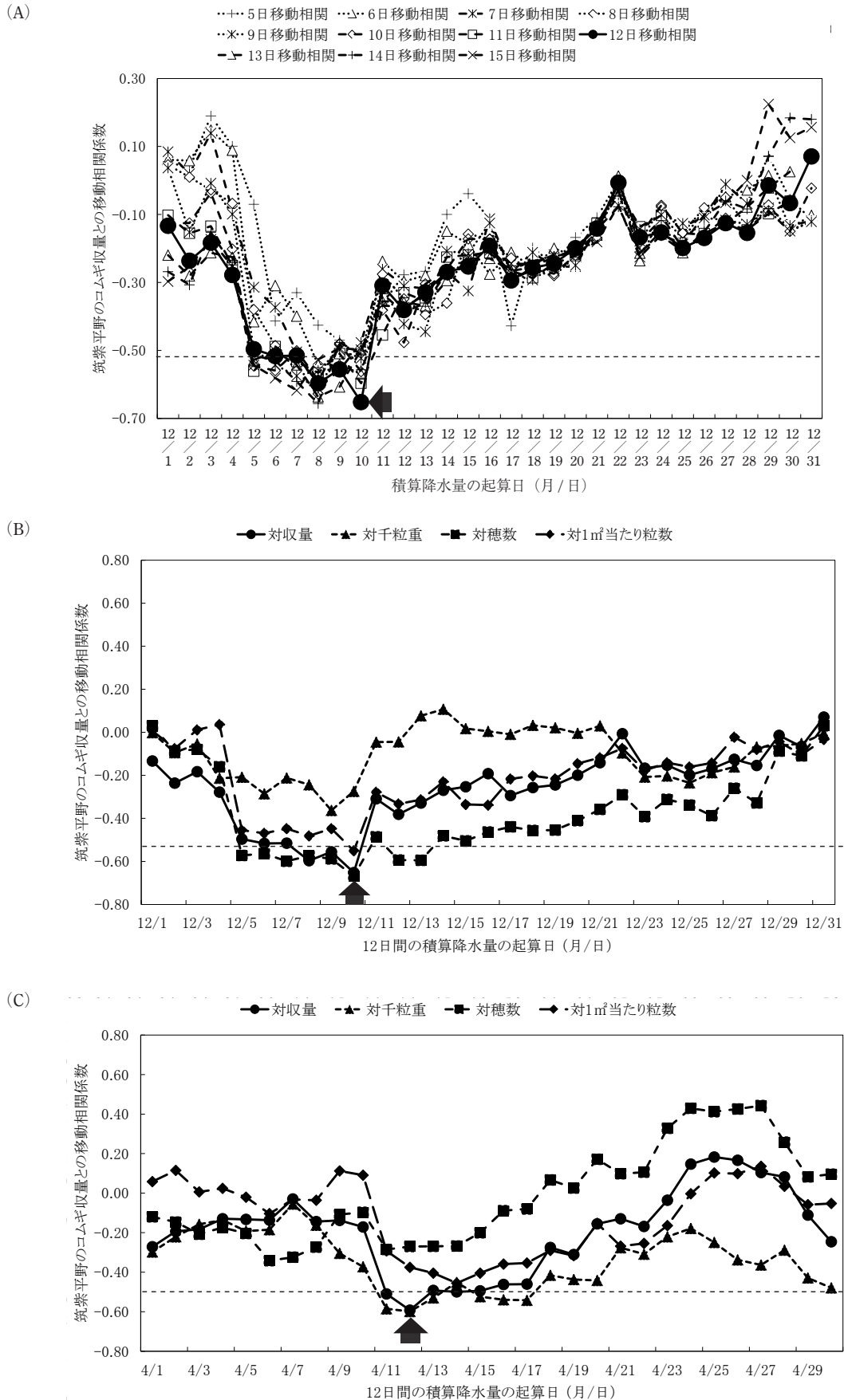
| 降水量           | 11月中 | 11月下 | 12月上 | 12月中 | 12月下 | 1月上 | 1月中 | 1月下 | 2月上 | 2月中 | 2月下 | 3月上 | 3月中 | 3月下  | 4月上 | 4月中 | 4月下 | 5月上 | 5月中 | 5月下 | 6月上 |
|---------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 上麦重           |      |      |      | (*)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (†) |     |
| 程長            |      |      |      |      | (*)  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 穂長            |      |      |      |      |      |     |     | (†) |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 穂数            |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †   |     | *    |     |     |     |     |     |     |     |
| 有効茎歩合         |      |      |      |      | (*)  | †   |     |     |     |     |     |     |     |      | †   |     |     |     |     |     |     |
| 千粒重           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     | (*) |     |     | (*) |     |     |
| 1㎡当たり粒数       |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (†) |     |
| 出芽期           |      |      |      |      |      |     | †   |     | †   |     |     |     |     |      | *   |     |     |     |     |     |     |
| 播種～出芽迄日数      |      |      |      |      |      |     | †   |     |     |     |     |     |     |      | †   |     |     |     |     |     |     |
| 幼穂形成始期        |      |      |      |      |      |     |     | (†) |     |     |     |     |     | †    |     |     |     |     |     |     |     |
| 幼穂形成始期～節間伸長始期 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     | (†) |     |     |     | (†) |     |
| 幼穂形成始期～出穂期    |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     | (†) |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 節間伸長開始期       |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      | †   |     |     |     |     |     |     |
| 節間伸長式～出穂期     |      |      |      |      | †    |     | †   |     |     |     |     |     | (†) |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 出穂期           |      |      |      |      |      |     |     | (*) |     |     |     |     |     |      | †   |     |     |     |     |     |     |
| 登熟日数          |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | †   | (*) |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 成熟期           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     | †   |
| 1/20 茎数       |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     | (*)  |     | (†) |     |     |     |     |     |
| 2/10 茎数       |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     | (*)  |     | (*) |     |     |     |     |     |
| 3/1 茎数        |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     | (*) | *   |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 3/19 茎数       |      |      |      | (†)  |      | *   |     | (†) |     | (*) |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 1/20 草丈       |      |      | *    |      | *    |     |     | †   | (†) |     |     |     |     | (*)  |     |     |     |     |     |     |     |
| 2/10 草丈       |      |      |      |      |      |     |     | *   |     |     |     |     |     | (**) |     |     |     |     |     |     |     |
| 3/1 草丈        |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     | (**) |     |     |     |     |     |     |     |
| 3/19 草丈       |      |      |      |      |      |     |     | *   |     |     |     | †   | (*) |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 筑紫平野平均        |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 柳川市           |      |      |      | (*)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      | †   |     |     |     |     |     |     |
| 佐賀市           |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 大川市           | (†)  |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 筑前町           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     | (†) |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 大町町           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 江北町           |      |      |      |      |      |     |     | (*) |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 筑紫野市          |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (†) |     |
| 朝倉市           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) | (†) |
| 神埼市           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 筑後市           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| みやき町          |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 鹿島市           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 小郡市           |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 吉野ヶ里町         |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 上峰町           |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 大木町           |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 久留米市          |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 小城市           |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| みやま市          |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      | †   |     |     |     |     | (*) |     |
| 大刀洗町          |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 基山町           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 白石町           |      |      |      | (†)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | †   |     |
| うきは市          |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 嬉野市           |      |      |      | (*)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 鳥栖市           |      |      |      | (*)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (*) |     |
| 多久市           |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 武雄市           |      |      |      | (*)  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | †   |     |

\*\* P < 0.01, \* P < 0.05, † P < 0.1, () 内は負の相関であることを示す。自治体の並び順は2000～2022年の平均コムギ収量の順番とした。

## (C) 日照時間との相関

| 日照時間          | 11月中 | 11月下 | 12月上 | 12月中 | 12月下 | 1月上 | 1月中  | 1月下 | 2月上 | 2月中 | 2月下 | 3月上 | 3月中 | 3月下  | 4月上 | 4月中 | 4月下 | 5月上 | 5月中 | 5月下 | 6月上  |     |
|---------------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 上麦重           | †    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     | †   |     |     | (*)  |     |
| 稈長            |      |      | (*)  |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 穂長            |      |      | (*)  |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     | †    |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 穂数            |      | *    |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     | (†) |      |     |
| 有効茎歩合         |      |      |      |      |      |     | (*)  |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 千粒重           |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      | *   | *   |     | **  |     |     |      | (*) |
| 1㎡当たり粒数       |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      | (†) |
| 出芽期           |      |      |      | (†)  |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     | (†) |     |     |     |     |      |     |
| 播種～出芽迄日数      |      |      |      | (†)  | †    |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 幼穂形成始期        |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     | (*) | *    |     |     |     |     |     |     | (**) |     |
| 幼穂形成始期～節間伸長始期 |      |      |      | †    |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      | †   |     |     |     |     |     |      |     |
| 幼穂形成始期～出穂期    |      |      |      |      |      |     |      |     |     | †   |     |     | †   | (**) |     |     |     |     |     |     | †    |     |
| 節間伸長開始期       |      |      |      |      |      |     | *    | (†) |     |     |     |     | (†) |      |     |     |     |     |     |     | (*)  |     |
| 節間伸長式～出穂期     |      |      |      |      |      |     | (*)  |     |     |     |     |     |     |      | (*) |     |     |     |     |     |      |     |
| 出穂期           |      |      |      |      |      |     |      |     | (*) |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     | (†)  | (*) |
| 登熟日数          |      |      |      |      |      |     |      |     | *   |     |     | (†) |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 成熟期           |      |      |      | †    |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 1/20 茎数       |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     | *    |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 2/10 茎数       |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      | †   |
| 3/1 茎数        |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 3/19 茎数       |      | †    |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 1/20 草丈       |      |      |      | (*)  |      |     | (**) |     |     |     |     |     | *   | (*)  |     |     |     |     |     | †   |      |     |
| 2/10 草丈       |      |      |      |      |      |     | (*)  |     |     |     |     |     | *   | (†)  |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 3/1 草丈        |      |      |      |      |      |     |      |     | *   |     |     |     | †   |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 3/19 草丈       |      |      |      |      |      |     |      |     | **  |     |     |     | †   |      |     |     |     |     |     |     |      | †   |
| 筑紫平野平均        | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 柳川市           |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     | *    |     |
| 佐賀市           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   | †   |      |     | †   | †   |     |     |     |      |     |
| 大川市           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     | †   |     |     |     |     |      |     |
| 筑前町           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | *   |     |      | †   |     |     | **  |     | *   |      |     |
| 大町町           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     | †   | †   | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 江北町           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | *   | *   |      |     |     | *   |     |     |     |      |     |
| 筑紫野市          | †    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | *   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 朝倉市           | †    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      | †   |     |     | *   |     |     |      |     |
| 神埼市           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      | †   | †   |     |     |     |     |      |     |
| 筑後市           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | *   |     |      | †   |     |     |     |     | (*) |      |     |
| みやき町          | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     | *   |     |     |     |      |     |
| 鹿島市           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | *   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 小郡市           | †    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 吉野ヶ里町         | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     | †   | *   |     |     |     |      |     |
| 上峰町           | *    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      | *   | *   |     |     |     |     |      |     |
| 大木町           | †    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     | (*)  |     |
| 久留米市          | †    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 小城市           |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | *   |     | †    |     |     | †   |     |     |     |      |     |
| みやま市          |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | *   |     |      |     |     |     |     |     | (†) | †    |     |
| 大刀洗町          |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     | †   |     |     |     |     |      |     |
| 基山町           |      |      |      |      | †    | †   |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 白石町           | †    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      | †   |
| うきは市          | †    |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 嬉野市           |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |      | *   |
| 鳥栖市           |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |
| 多久市           | *    |      |      |      |      |     | †    |     |     |     |     | †   | †   |      |     | †   |     |     |     |     |      |     |
| 武雄市           |      |      |      |      |      |     |      |     |     |     |     | †   |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |

\*\* P < 0.01, \* P < 0.05, † P < 0.1, () 内は負の相関であることを示す。自治体の並び順は2000～2022年の平均コムギ収量の順番とした。



第3図 筑紫平野における12月の暦日から任意の日数の積算降水量と平均コムギ収量の移動相関係数(A)および12月(B)と4月(C)の暦日から12日間の積算降水量と平均コムギ収量および佐賀農試作況調査の千粒重, 穂数および1m<sup>2</sup>粒数との移動相関係数(2000~2022年). 気象条件と平均コムギ収量が最も強い相関を示す暦日を矢印で示した. 破線より下のプロットは1%水準で有意であることを示す.



0.01).

12月中旬と4月中旬の2つの時期の降水量を説明変数として、北部九州のコムギ収量を目的変数とした重回帰分析を行った結果、以下の回帰式が得られた。

北部九州のコムギ収量 ( $\text{kg}/10 \text{ a}$ ) =  $-24.9 \times (12/10 \sim 21$  の1日当たりの降水量 (mm))  $-9.7 \times (4/12 \sim 23$  の1日当たりの降水量 (mm))  $+ 481.0$

それぞれの時期の降水量が収量に与える影響の大きさを示す標準偏回帰係数は、12月中旬の降水量が $-0.511$ 、4月中旬の降水量が $-0.421$ で、本回帰式の自由度調整済みの決定係数は $0.541$ であった。したがって、12月中旬と4月中旬の合計24日間の降水量により、北部九州のコムギ収量の変動の半分以上を説明できることが明らかとなった。

コムギ収量は降水量と負の相関を示す一方、3月下旬の平均気温と、11月中旬、2月下旬と4月中旬の日照時間とは有意な正の相関を示した(第2表)。そこで、コムギ収量が平均気温または日照時間と最も強い相関を示す期間を特定するため、2000~2022年の23年間の3月下旬の平均気温と、11月中旬、2月下旬および4月中旬の日照時間について、降水量と同様に、任意の日数の平均気温および平均日照時間とコムギ収量および収量構成要素との移動相関係数を解析した。その結果、平均気温は3月22~30日の9日間 ( $r = 0.536, n = 23, P < 0.01$ )、日照時間は、11月7~17日の11日間 ( $r = 0.629, n = 23, P < 0.01$ )と2月17~3月1日の13日間 ( $r = 0.529, n = 23, P < 0.01$ )においてコムギ収量と有意な相関を示した(第4図)。一方、4月中旬の日照時間は、一部の自治体のコムギ収量と有意な相関を示したが(第2表C)、筑紫平野全体のコムギ収量とは有意な相関を示さなかった ( $r = 0.298, n = 23, P > 0.05$ )。また、 $1 \text{ m}^2$ 当たり粒数は11月7~17日の11日間の日照時間と有意な相関 ( $r = 0.511, n = 23, P < 0.05$ )を示したが(第4図B)、穂数と千粒重は、平均気温および日照時間と有意な相関を示さなかった。

先に解析した12月10~21日および4月12~23日の降水量に加えて、コムギ収量と有意な相関を示した3月22~30日の9日間の平均気温、11月7~17日の11日間と2月17~3月1日の日照時間の合計5つの気象条件を説明変数として、筑紫平野の平均コムギ収量を目的変数とし、統計モデルの適合度を評価する赤池情報量規準(AIC)を用いたステップワイズ法による変数選択を行う重回帰分析を行った。その結果、12月10~21日および4月12~23日の降水量および2月17~3月1日の日照時間の合計3つの気象条件が5%水準で有意な説明変数として選択された。3月下旬の平均気温および11月中旬の日照時間は有意な説明変数として選択されなかった。これより、2000~2022年の筑紫平野の平均コムギ収量について、12月10~21日および4月12~23日の1日当たりの平均降水量と、2月17~3月1日の1日当たりの平均日照時間を説明変数として、

以下の回帰式が得られた。

北部九州のコムギ収量 ( $\text{kg}/10 \text{ a}$ ) =  $-17.5 \times (12 \text{ 月 } 10 \sim 21 \text{ 日 の } 1 \text{ 日 当 た り の 降 水 量 (mm)) - 9.9 \times (4 \text{ 月 } 12 \sim 23 \text{ 日 の } 1 \text{ 日 当 た り の 降 水 量 (mm)) + 28.9 \times (2 \text{ 月 } 17 \sim 3 \text{ 月 } 1 \text{ 日 の } 1 \text{ 日 当 た り の 日 照 時 間 (h)) + 319.2$

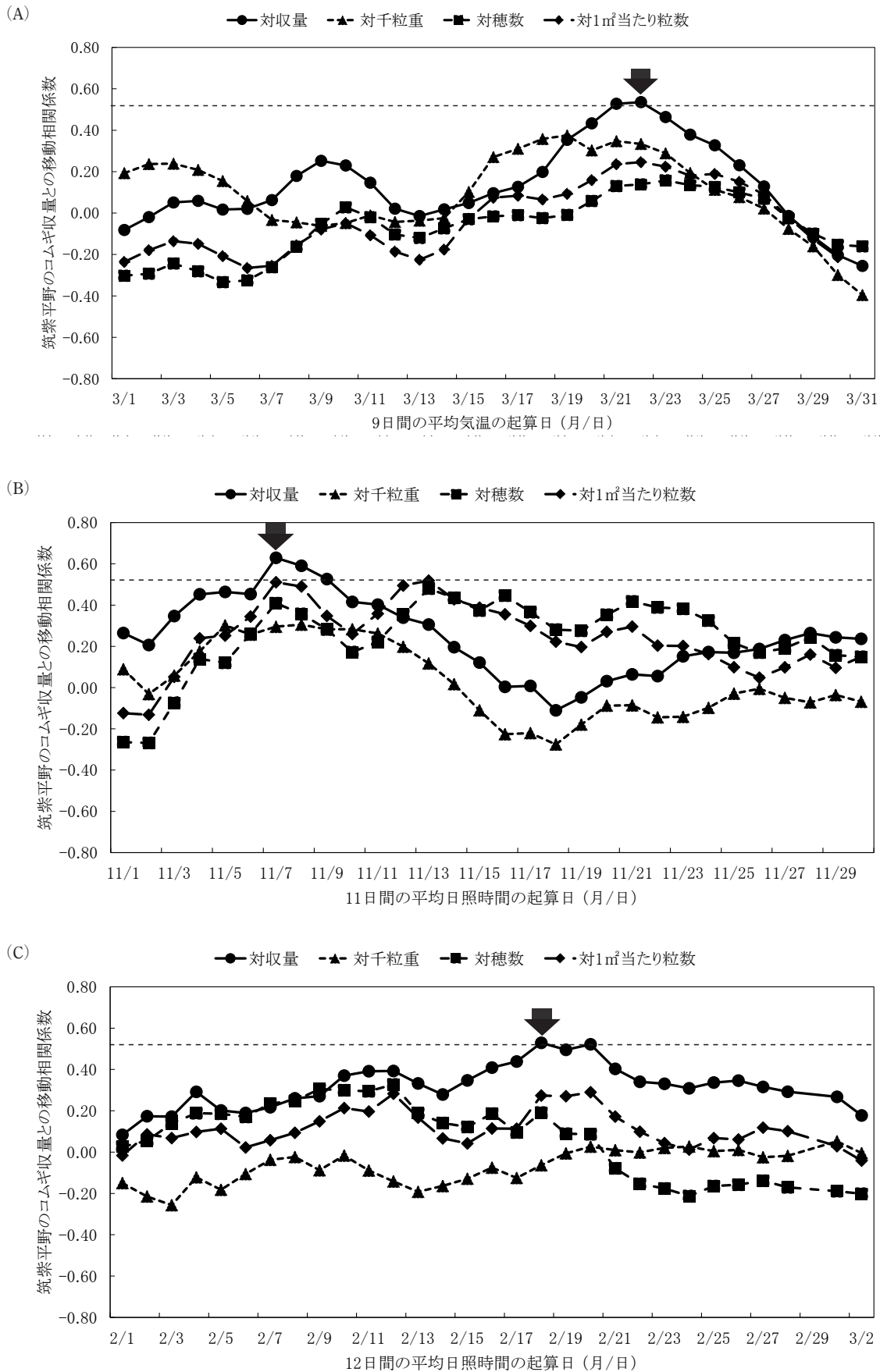
本回帰式の自由度調整済みの重相関係数は $0.826$ 、決定係数は $0.682$ であった。それぞれの気象条件がコムギ収量に与える影響の大きさを示す標準偏回帰係数は、12月10~21日の降水量が $-0.357$ 、4月12~23日の降水量が $-0.433$ 、2月17~3月1日の日照時間が $0.407$ であった。3つの気象条件が収量に与える影響は、大きい方から、開花期の4月12~23日の降水量、茎立期から節間伸長期に当たる2月17~3月1日の日照時間、分けつ始期に当たる12月10~21日の降水量の順であった。降水量のみを説明変数とした回帰分析と比較して、2つの時期の降水量の標準偏回帰係数の大きさは逆転した。

筑紫平野の平均コムギ収量と2月17~3月1日の日照時間の関係に加えて、12月10~21日と4月12~23日の降水量をプロットサイズとして表した散布図を第5図に示した。筑紫平野の平均コムギ収量は、2月17~3月1日の日照時間が多いほど増加する傾向が見られたが、同時期の日照時間は、千粒重、穂数および $1 \text{ m}^2$ 当たり粒数のいずれの収量構成要素とも有意な相関を示さなかった。北部九州のコムギにおいて、2月17~3月1日は、頂端小穂形成期を終えて幼穂の小穂数が決定し、節間伸長の速度が急速に高まる茎立期に当たる(松山ら2022)。この時期の日照時間が筑紫平野の平均コムギ収量の有意な説明変数として選択されたことから、同期間に供給される同化産物が収量を決定づけるシンクおよびソースサイズの確定に大きく関与すると考えられる。一方、12月10~21日と4月12~23日の1日当たりの平均降水量が約 $10 \text{ mm}$ を超えた場合は、日照時間に関わらず低い収量となっていた(第5図)。これは、2つの時期の降水量がコムギのシンクサイズを強く抑制するためと考えられる。

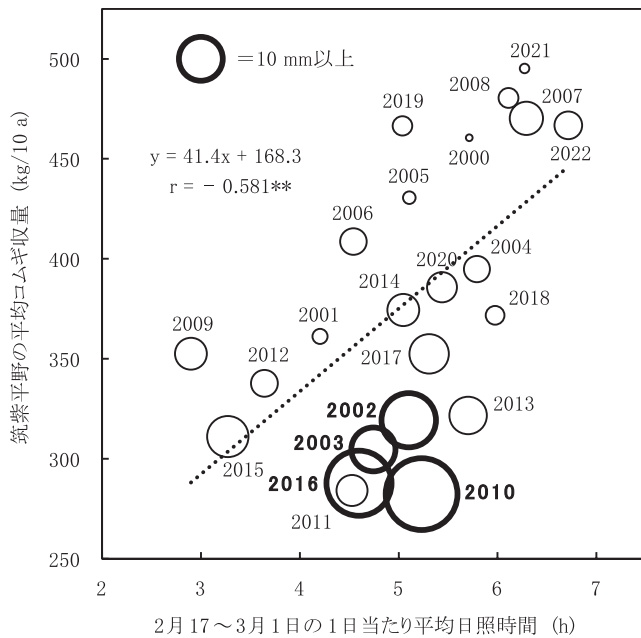
## 考 察

### 1. 北部九州の降水量とコムギ収量および収量構成要素の関係

コムギの多収を達成するためには、初期生育から出穂期までの茎数および穂数の確保が非常に重要である。これまでの研究から、北部九州のコムギ収量には、収量構成要素のうち穂数および $1 \text{ m}^2$ 当たり粒数が最も貢献することが報告されている(田谷ら1981)。今回の北部九州のコムギの23年間の解析から、12月10~21日の降水量は、平均単収と有意な負の相関 ( $r = -0.652, n = 23, P < 0.01$ )を示すとともに、作況試験における穂数 ( $r = -0.668, n = 23, P < 0.01$ )および $1 \text{ m}^2$ 当たり粒数 ( $r = -0.550, n = 23, P < 0.01$ )との間にも強い負の相関を示した(第3図A)。北部九州のコムギの生育において、12月中旬は分け



第4図 筑紫平野における3月の暦日から9日間の平均気温 (A), 11月の暦日から11日間の平均日照時間 (B), 2月の暦日から12日間の平均日照時間 (C) と平均コムギ収量および佐賀農試作況調査の千粒重, 穂数および1m<sup>2</sup> 当たり粒数との移動相関係数(2000~2022年). 気象条件と平均コムギ収量が最も強い相関を示す暦日を矢印で示した. 破線より上のプロットは1%水準で有意であることを示す.



第5図 筑紫平野における2月17～3月1日の1日あたりの平均日照時間とコムギ収量の関係（2000～2022年）。

プロットの大きさは、12月10～21日と4月12～23日の合計の1日あたり平均降水量を表し、太字の年は10mm以上であることを示す。

\*\*  $P < 0.01$

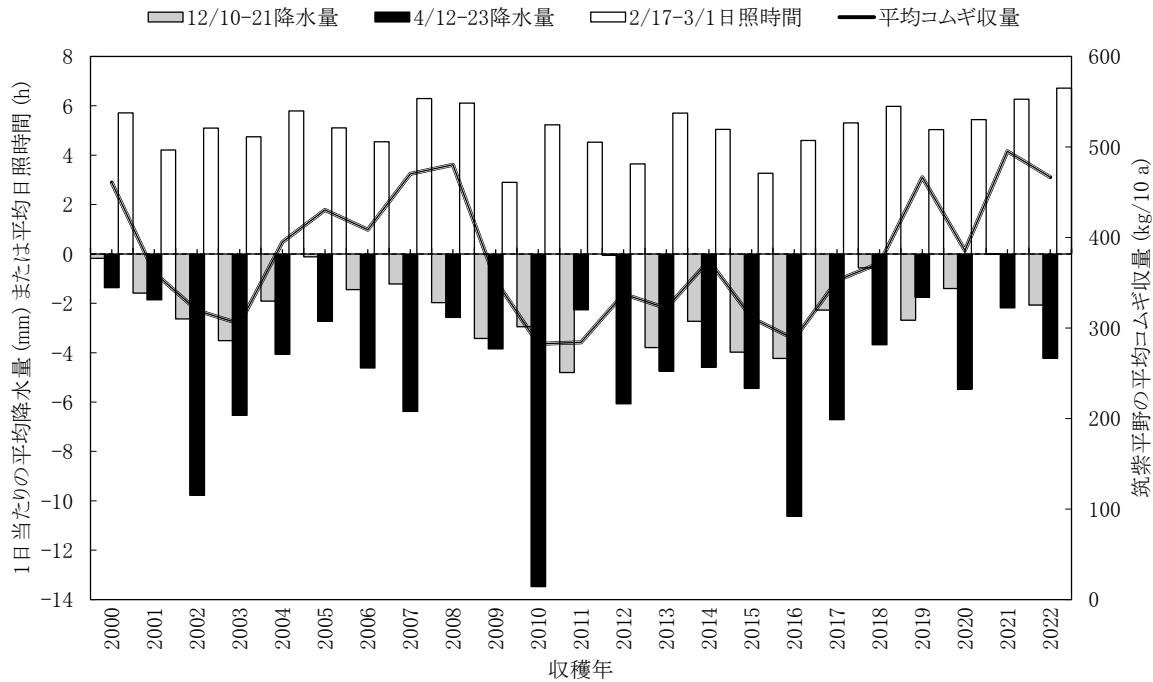
つ始期に相当し、出芽直後のコムギが茎数の増加を開始するための同化産物を必要とする。海外においてもコムギの生育初期に湛水処理を行うと分けつ数（茎数）が減少することが報告されており（de San Celedonio ら 2016）、播種後3週齢のコムギに対して、3日間の湛水処理を行った結果、種子根の生育が停止し（Malik ら 2002）、処理後は不定根が形成されるが、地下部および地上部の生育量は有意に減少した（Trought and Drew 1980, Thomson ら 1992, Huang ら 1994, Malik ら 2002）。さらに、北部九州ではコムギの播種前の11月7～17日の11日間の日照時間が1m<sup>2</sup>当たり粒数と有意な相関を示した。これらの結果や報告から、コムギの初期生育における過剰な土壌水分は、穂数や1m<sup>2</sup>あたり粒数などのシンクサイズの形成を強く抑制し、収量を低下させるとみられる。

北部九州では、梅雨入り前に収穫できる早生の春播コムギが栽培される一方、北海道では、4ヶ月に及ぶ積雪下で越冬するため春化に長期間の低温が必要な秋播コムギが栽培される。Shimoda ら（2022）は、過去30年間の北海道のコムギの収量ギャップ（コムギのポテンシャル収量と実際の収量との差異）と気象条件との関係を解析した。その結果、北海道ではコムギの出穂期以降の大気中の飽差（飽和水蒸気量と実際の水蒸気量の差分）が収量ギャップの変動に大きな影響を与えていることを見出した。また、北海道において飽差がコムギの収量ギャップに対して有意に影響する時期は、コムギ品種「チホクコムギ」が普及してい

た1987年から1996年までは穂発芽の発生に関わる収穫期であったが、穂発芽耐性が改良された「ホクシン」が普及した1997年から2010年までは、赤かび病の発生に関わる登熟期前半に前進し、さらに穂発芽耐性と赤かび病耐性が改良された最新品種の「きたほなみ」が普及した2011年以降は、子実の稔実に関わる開花期に前進していた。コムギの開花期に湛水処理を行った研究報告は少ないが、de San Celedonio ら（2016）は、コムギの出芽期から成熟期までを5つの期間に区切って湛水処理を行った結果、出穂前の7葉期から開花期の湛水処理により収量が最も減少したことを報告している。

乾燥地が原産のコムギにとって、我が国の気候は基本的に多雨多湿であるため、異なる栽培地域においても同様の気象反応を示す可能性がある。今回の北部九州の解析は、コムギ収量の制限要因として、これまで西尾ら（2017）およびNishio ら（2019）が報告した12月中旬の降水量に加えて、Shimoda ら（2022）の報告と同様に、コムギの開花期の降水量が強く影響することを初めて明らかにした。西尾ら（2017）が対象とした2000～2014年およびNishio ら（2019）が対象とした2000～2016年の北部九州のコムギ収量の解析では、4月中下旬の降水量と収量との負の相関が見られたが、有意ではなかった。一方、本解析で新たに対象とした2017～2022年は、12月中旬と4月中旬の降水量が少ない年が多かった。2000～2016年の平均収量の364 kg/10aに対して、2017～2022年は423 kg/10aと増加していた。特に2019、2021年は少雨で多収となったことから、本解析において4月中旬の降水量と収量との有意な相関関係が検出されたと考えられる（第6図）。

北部九州の4月12～23日の降水量は、コムギ収量と有意な負の相関（ $r = -0.592, n = 23, P < 0.01$ ）を示し、収量構成要素の千粒重とも有意な負の相関（ $r = -0.599, n = 23, P < 0.01$ ）を示した。4月中旬は受粉後のコムギ子実が肥大を開始するため、子実に転流する同化産物を必要とする。一方、千粒重は5月4～11日の8日間の日照時間と強い正の相関関係（ $r = 0.789, n = 23, P < 0.01$ ）を示したが、同期間の日照時間は、筑紫平野のコムギ収量とは有意な相関を示さなかった。つまり、千粒重は開花期から登熟初期（4月12～23日）の降水量で抑制され、登熟中期（5月4～11日）の日照で促進されたが、収量に対して有意に影響したのは登熟初期の降水量のみであった。コムギは風媒花であるため、開花期から登熟初期が多雨条件になると受粉が阻害され、着粒数が減少してシンクサイズが制限される（Shimoda ら 2022）。北部九州における開花期から登熟初期（4月12～23日）の降水量は、有意ではないが1m<sup>2</sup>当たり粒数と負の相関（ $r = -0.376, n = 23, P = 0.08$ ）を示した。しかし、北海道や海外のコムギと異なり、北部九州のコムギの千粒重と収量は有意な相関を示さないことが多い（福冨 2007）。そのため、北部九州では開花期から登熟初期（4月12～23日）が多雨条件となりシンクサイズ



第6図 筑紫平野の平均コムギ収量と12月10～21日の降水量、2月17～3月1日の日照時間、4月12～23日の降水量の推移(2000～2022年)。日照時間は正の値で、降水量は負の値で示した。

(子実数)が制限されると、登熟中期(5月4～11日)が多照条件となり十分な同化産物が供給されても、収量は有意に増加しないとみられる。つまり、北部九州のコムギ収量には、登熟中期(5月4～11日)の同化産物に関わる日照時間に比べて、開花期から登熟初期(4月12～23日)の降水量が強く影響している。

Shimodaら(2022)が報告した開花期前後の5日間の飽差が収量に大きく影響する多収性品種の「きたほなみ」は、コムギ小穂中の稔実可能な小花数が増加するタイプのGNI-A1遺伝子型を保持する(Sakumaら2019)。我々は、日本のコムギコアコレクション(小島ら2017)のGNI-A1遺伝子型を調査した結果、北部九州で多く栽培されているコムギ品種の「シロガネコムギ」および「チクゴイズミ」を含む九州地方のコムギ品種は、すべて「きたほなみ」と同じく小花数が増加する遺伝子型を保持していた(高橋ら2022)。このため、北部九州のコムギは、Shimodaら(2022)が報告した「きたほなみ」のように、開花期が多雨条件になると受粉が阻害され、特に上位小花の稔実率が低下する可能性が高い。

## 2. 北部九州の登熟期の気象条件とコムギ収量および収量構成要素の関係

北部九州や北海道などの異なるコムギ生産地域における気象条件によるコムギ収量の変動は、地域による気象条件の違いと、品種による遺伝的な特性の違いに分けて考えることができる。北海道や海外の多くの地域では、コムギの千粒重は、登熟期間の平均気温と強い負の相関を示すこと

が報告されている(Wiegand and Cuellar 1981, Nishioら2013)。北海道では近年の夏季の気温上昇により、コムギの登熟期が高温となり、登熟期間が短縮して千粒重が減少(小粒化)することが大きな問題となっている(西尾ら2011, Nishioら2013, Shimodaら2015)。一方、西尾ら(2017)が指摘したように、北部九州のコムギが北海道や海外のコムギと大きく異なる特徴は、出穂期から成熟期までの登熟期間の長さや千粒重が、登熟期の平均気温の影響をほとんど受けにくいことである。越冬環境の厳しい北海道では、ヨーロッパや北米などの海外の多くの産地と同様に秋播コムギ品種が栽培される。しかし、北部九州では梅雨入り前にコムギを収穫する必要があるため、世界的に最も成熟期の早い早生の春播コムギ品種が栽培される(藤田1997, Seki 2015)。このため、北部九州のコムギは成熟期が早いだけでなく、北海道や多くの海外のコムギ品種とは異なり、登熟期の気温によって成熟期が影響を受けにくい品種が選抜されてきた可能性がある。

一方、コムギの登熟期間に相当する初夏の日照時間は、一般的な予想と異なり、北海道十勝地方よりも北部九州の方が長い。2000～2022年の北部九州地方と北海道十勝地方のコムギの登熟期間の平均日照時間を比較すると、北海道十勝地方のコムギの出穂期から成熟期に当たる6月上旬～7月下旬の帯広市の一日あたりの平均日照時間は4.6時間であるのに対し、北部九州のコムギの出穂期から成熟期に当たる4月上旬～5月下旬の筑紫平野の一日あたりの平均日照時間は6.6時間で、筑紫平野の方が一日あたり約2時間、比率では約43%長い。Shimodaら(2015)は、北海道

におけるコムギの登熟期間の1日あたりの平均日照時間が4.5時間を超えると、登熟期間の気温の上昇による千粒重の低下が見られないことを報告した。このように、北部九州ではコムギの登熟期の日照時間が確保されるため、北海道のような登熟期の気温上昇による登熟期間の短縮や千粒重の低下がみられない可能性がある。また、開花期から登熟初期の降水によって千粒重が減少する理由として、同化産物の不足に加えて赤かび病感染の可能性が考えられる(中島ら2004)。しかし、近年は赤かび病に対する薬剤防除の指導が徹底されていることから、降雨によるストレスが収量低下の原因とみられる。

### 3. 北部九州のコムギの安定多収を実現する方策

今回の2000~2022年の解析で得られた12月中旬、4月中旬の降水量および2月下旬の日照時間の3つの気象条件によってコムギ収量を説明する回帰式は、Nishioら(2019)による回帰式と比べて高い決定係数を示した。回帰式の説明変数として選択された12月中旬の12日間および4月中旬の12日間の降水量は、それぞれ、子実数と関係する穂数および1m<sup>2</sup>当たり粒数と、子実サイズと関係する千粒重を抑制することにより、コムギのシンクサイズの成長を阻害する収量の制限要因となっていた。つまり、北部九州のコムギでは、播種期から登熟初期までの降水量によって、シンクサイズの大きさがおよそ決定されている。このため、北部九州のコムギで安定して多収を得るためには、生育期間中の降雨によるコムギへの影響を最小限にすることが非常に重要である。

北部九州の水田輪作におけるコムギ栽培の第一の基本技術は、播種前から生育期間を通した排水対策の徹底である。特に、排水不良の圃場では、降雨や湛水がコムギの生育に直接的に影響するだけでなく、前作の収穫作業の遅延により、播種前の適切な圃場管理作業が困難になる。播種作業が遅れると、その分コムギの生育が遅滞し、さらに十分な穂数と収穫を確保することが困難になる。このように、過剰な土壤水分は、コムギの生育に負の連鎖をもたらし、収量を低下させる。このため、北部九州のコムギで安定かつ多収を得るには、従来からの基本技術ではあるが、①ブロックローテーションや長期畑輪作といった圃場利用の観点からの排水対策、②明きよ、暗きよの施工やカットドレンなど播種前の排水対策、③アップカットロータリ等の播種時の排水対策、④生育期間中管理(土入れ)や生育期のサブソイラ施工等による排水対策など、一貫した排水対策の重要性が非常に高いことを、改めて関係者で共有する必要がある。今回得られた結果を活用して、さらに例えば、野菜用に市販されている酸素発生剤をコムギの播種と同時に施用したり、アップカットロータリやカットブレーカー、カットドレンなどの新しい技術を活用したりすることにより、地下部の通気性を確保することも有力な方策となる(塚本ら2020)。

本解析の結果、2月下旬の日照時間はコムギ収量を増加させる方向に作用していた。2月下旬は北部九州のコムギの茎立期に相当し、節間伸長の速度が急速に高まる時期で、国内外を問わずこの時期に増収を目的とした追肥が行われることが多い(松山ら2022)。また、北部九州のコムギの幼穂長が2~3mmに成長して先端に頂端小穂原基が形成される時期に当たり、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)。本解析では2月下旬の日照時間は特定の収量構成要素と有意な相関を示さなかったものの、この時期の日照から得られる同化産物は、シンクおよびソースの両方の形成に重要な役割を果たし、コムギ収量に重要な影響を与えると考えられる。したがって、北部九州のコムギの追肥作業は、2月下旬頃に最も効果が得られるタイミングで実施することが望ましい。

気温の将来予測と比較して、降水量や日照時間の予測は難しいとされる。しかし、将来起こりうる温暖化の北部九州のコムギへの影響評価は、12月中旬の降水量と2月下旬の日照時間に加えて、4月中旬の降水量を考慮に入れる必要がある。また、本解析が明らかにした北部九州のコムギの降水ストレスの感受性が高まる時期において、既に赤かび病抵抗性系統の選抜で使用されている人工的な降雨処理の適用や湛水処理等を行うことで、耐性が優れる遺伝資源や系統の選抜、または影響を緩和する栽培技術が考えられる。最近のスマート農業技術の進展により、作物の生育を監視するセンシング技術、それに基づく精密な施肥制御や圃場ごとの過去の栽培履歴データなどの多様なツールが利用可能になっている。これらの新しい技術や排水対策を中心とした基本技術を組み合わせることで、国産コムギの収量向上と安定生産が期待される。

**謝辞:** 本研究にあたり、佐賀県農業試験研究センターの関係者様のご協力により、貴重な累年の作況試験データを使用させて頂いたことに深く御礼を申し上げる。

### 引用文献

- 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.
- 福寫陽 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. 九州沖繩農研報告 48: 125-181.
- Huang, B., Johnson, J., NeSmith, D. and Bridges, D. 1994. Root and shoot growth of wheat genotypes in response to hypoxia and subsequent resumption of aeration. *Crop Sci.* 34: 1538-1544.
- Kanda Y. 2013. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant.* 48: 452-458.
- 小島久代・藤田雅也・松中仁・関昌子・蝶野真喜子・乙部(桐淵)千雅子・高山敏之・小田俊介 2017. 「日本のコムギコアコレクション」の作成と評価. 農研機構報告 作物開発センター 1: 1-13.
- Malik, A.I., Colmer, T.D., Lambers H., Setter, T.L., Schortemeyer, M., 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth

- and physiology of wheat. *New Phytol.* 153: 225-236.
- 松山宏美・島崎由美・福嶋陽・渡邊和洋 2022. コムギ・オオムギの発育調査基準の再整理. *日作紀* 91: 76-87.
- 中島隆・草原典夫・坂田智子・吉田めぐみ 2004. 西日本における赤かび病自然発生圃場のコムギ試料における粒厚, 赤かび粒率およびマイコトキシン汚染度の関係. *九病虫研会報* 50: 6-9.
- 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. *農研機構北農研資料* 69: 15-21.
- Nishio Z., Ito M., Tabiki T., Nagasawa K., Yamauchi H., Hirota T. 2013. Influence of higher growing season temperatures on yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Sci.* 53: 621-628.
- 西尾善太・内川修・西岡廣泰・杉田知彦・岡見 翠・松中仁・塔野岡卓司・中村和弘 2017. 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. *日作紀* 86: 139-150.
- Nishio, Z., Uchikawa, O., Hideshima, Y., Nishioka, H., Mihara, M., Nakamura, K., Matsunaka, H., and Yamaguchi, K. 2019. Influence of precipitations and sunshine hours on yield of paddy field grown wheat (*Triticum aestivum* L.) in northern Kyushu, Japan. *Plant Prod. Sci.* 22: 479-489.
- 農林水産省 2022. 麦類 (子実用) の作付面積及び収穫量. [https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou\\_kome/](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/) (2023 年 8 月 24 日閲覧).
- Sakuma, S., Goland, G., Guo, G., Ogawa, T, Tagiri, A., Sugimoto, K., Bernhardt, N., Brassac, J., Mascher, M., Hensel, G., Ohnishi, S., Jinno, H., Yamashita, Y., Ayala, I., Peleg, Z., Schnurbusch, T. and Komatsuda, T. 2019. Unleashing floret fertility in wheat through the mutation of a homeobox gene. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116: 5182-5187.
- de San Celedonio, R.P., Abeledo, L.G., Brihet, J.M., Miralles, D.J. 2016. Waterlogging affects leaf and tillering dynamics in wheat and barley. *J. Agron. Crop Sci.* 202: 409-420.
- Seki, M. 2015. Genetic studies of photoperiod response genes and their effect on heading time in Japanese wheat cultivars. *Bull. NARO Inst. Crop Sci.* 15: 29-73.
- 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.
- Shimoda, S., Terasawa, Y., Nishio, Z. 2022. Improving wheat productivity reveals an emerging yield gap associated with short-term change in atmospheric humidity. *Agric. For. Meteorol.* 312: 108710.
- 高橋賢多・田中溪・笠間瑞希・村上結衣・西尾善太 2022. コムギの小花の稔性を制御する *GNI-A1* 遺伝子型の地理的分布. *育種学研究* 24(別 1):47.
- 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.
- Thomson, C., Colmer, T. Watkin, E. and Greenway, H. 1992. Tolerance of wheat (*Triticum aestivum* cvs Gamenya and Kite) and triticale (*Triticosecale* cv. Muir) to waterlogging. *New Phytol.* 120: 335-344.
- Trought, M. and Drew, M. 1980. The development of waterlogging damage in young wheat plants in anaerobic solution cultures. *J. Exp. Bot.* 31: 1573-1585.
- 塚本康貴・北川巖・大橋優二 2020. 転換畑における収量品質向上のための灌漑排水技術. *農業農村工学会誌* 88: 801-804.
- Wiegand, C., and Cuellar, J. 1981. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Crop Sci.* 21: 95-101.

### Precipitation Patterns Reducing Wheat Yield in Northern Kyushu Since 2000

Zenta NISHIO<sup>1)</sup>, Minoru MIHARA<sup>2)</sup>, Yoshitomo HIDESHIMA<sup>2)</sup> and Tomoyoshi HIROTA<sup>3)</sup> (<sup>1)</sup>*Dept. of Agr., Tokyo Univ. of Agr., Atsugi, 243-0034, Japan;* <sup>2)</sup>*Saga Pref. Agr. Res. Ctr.;* <sup>3)</sup>*Dept. of Agro-env. Sci., Fac. of Agr., Kyushu Univ.*)

**Abstract:** Since 2000, wheat yield per 10 a in Northern Kyushu was about 500 kg in 2007–2008, less than 300 kg in 2010–2011, and about 500 kg again in 2021–2022. Therefore, the effect of climatic conditions on wheat yield in Northern Kyushu was analyzed in detail on a daily basis for 23 years from 2000 to 2022. Three significant weather conditions, namely precipitation from December 10 to 21 and April 12 to 23, and sunshine duration from February 17 to March 1, were adopted as explanatory variables at the 5% level. The standard partial regression coefficients were –0.357 for precipitation from December 10 to 21, –0.433 for precipitation from April 12 to 23, and 0.407 for sunshine hours from February 17 to March 1, with a degree of freedom adjusted multiple correlation coefficient of 0.826 and coefficient of determination of 0.682. Precipitation from December 10–21 decreased the number of ears and grains per square meter, and precipitation from April 12–23 decreased the thousand-grain weight and limited sink size, respectively. Sunshine hours from February 17 to March 1 appeared to be related to sink and source size determination because this is the jointing stage when internode elongation is most active. Avoiding sink size limitation due to precipitation at two specific times of the year, December and April, is important to achieve stable and high yields in wheat in northern Kyushu.

**Key words:** Wheat, Northern Kyushu, Paddy field, Water lodging damage, Yield components, Temperature, Precipitation, Sunshine hours.