

気候変動が農業に及ぼす影響と適応 —2023年の事例を含めた水稲品質、 ダイズ、北海道への適地移動—

九州大学大学院
農学研究院
広田 知良

気候変動による農業生産への様々な影響が深刻化している。2023年の9月末に日本学術会議より、国内農業に対する気候変動の影響と適応策に関する見解が公表された（日本学術会議 2023）。この見解公表後、2023年は観測史上、最も高温年となり、農業への影響がさらに顕著となった。そこで、本稿では、この日本学術会議での報告をベースに、2023年の気候が我が国の農業にさらにどのような影響を与えたか、および適応の現状を解説する。気象庁から公開されている気象観測データ（気象庁 2024a）および農林水産省の作物統計データと米穀の農産物検査結果等（農林水産省 2024a; 2024b）を主に用いて、筆者の見解を示す。

本論の構成は、まず、近年の日本の気候の特徴および気温と降水量の変動の傾向を中心に述べる。そして、エルニーニョ現象のような熱帯域での海面温度が世界や日本の気候に与える影響を解説し、今後の傾向を推察する。

次に農業への影響を、全国的視点から、気温の影響が大きく現れる水稲の品質と降水変動の影響が大きいダイズを取り上げる。その後、我が国を代表する農業生産地帯で、かつ寒冷な気候帯にあり気候変動適応の観点では、地理的条件として南北移動の北側で、国内では最も有利とされる北海道での現状と展望を示す。

近年の日本の気候の特徴

近年の日本の気候の特徴として、夏（6－8月）の極端な高温の頻度が増加している。夏が高温の場合、残暑が続き、秋も高温傾向である。秋の高温が続いた後で、初冬の12月に気温が低下して、ようやく低温となる傾向である。冬季（12－2月）は、寒波によって一時的に低温になるが、全般的には気温は平年より高く、暖冬傾向である。春（3－5月）は、2015年以降の気温が平年より高い年が継続しており、2024年で10年連続となった（気

象庁 2024a; 広田ら 2021）。通常は平年より高い年もあれば低い年もあるので、近年の春の傾向は異例ともいえる。2023年はこのような近年の日本の気候の特徴が良く現れ、全国的に記録の高温となった（図-1、気象庁 2024b）。特に北日本は平年と比べての高温傾向が顕著で、平年値（1991－2020年の30年平均値）と比較して+1.9°Cとなった。なお、東日本では+1.4°C、西日本では+0.9°Cであった。

日本の夏と冬の天候に及ぼすエルニーニョ現象などの海面温度の影響と今後の傾向

地球全体の気温は長期的な上昇傾向である温暖化に加えて、熱帯域にある太平洋中西部の広域の海面温度の状態を示すエルニーニョ現象（あるいはラニーニャ現象）によっても影響を受ける。エルニーニョ現象もラニーニャ現象も発生しない場合は、貿易風（東風）により、海面付近の暖かい海水が太平洋の西側に吹き寄せられる。エル

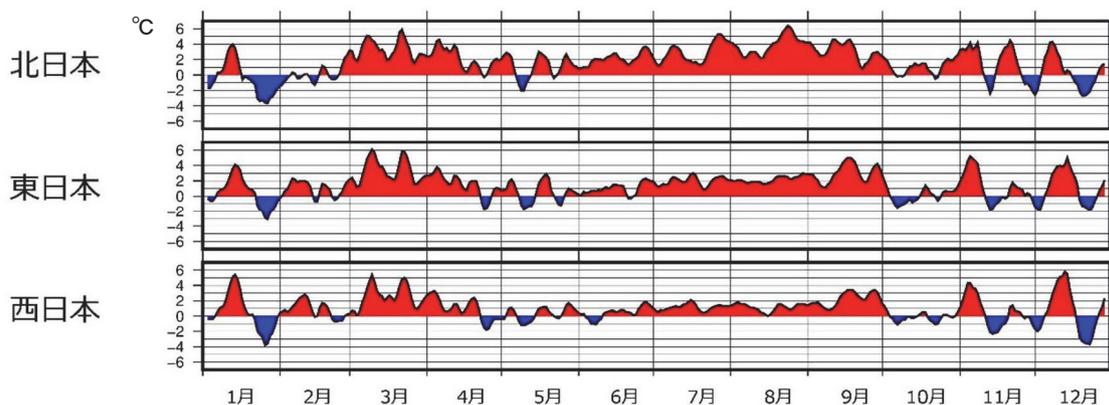
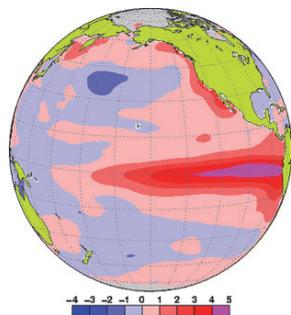


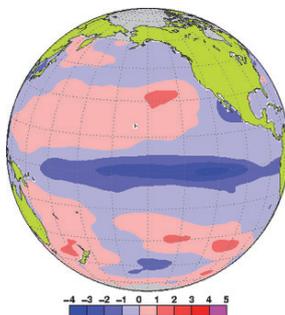
図-1 平均気温平年偏差（5日移動平均）、2021年1月～12月
気象庁、2024 2023年（令和5年）の日本の天候より引用

エルニーニョ



大気の熱が吸収しにくい
(気温が上昇しやすい)

ラニーニャ



大気の熱が吸収しやすい
(気温が上昇しにくい(停滞期))

地球上の西太平洋赤道付近を中心とした広域の海面温度の状態

<https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/learning/faq/whatiselnino.html>

図-2 1997年11月の月平均海面水温年偏差(エルニーニョ現象 左)及び、1988年12月の月平均海面水温年偏差(ラニーニャ現象 右) (気象庁を基に広田追記)

エルニーニョ現象は、太平洋熱帯域の貿易風が通常より弱くなることで発生する。太平洋の西側に溜まっていた暖かい海水が東へと広がる状態である。東側での深海からの冷水の湧昇が減るために、東側で海水温が上昇し、対流活動である積乱雲が盛んに発生する海域が通常より東側にシフトする。エルニーニョ現象発生時は全球の海面温度が全体的に高く、大気の熱が海洋に吸収されにくい傾向で全球の気温も高くなりやすい(図-2, 気象庁 2024c; 2024d)。

逆にラニーニャ現象は、貿易風が通常より強くなることで、太平洋西側で海水温が高くなり、西側海域での対流活動である積乱雲の発生がさらに盛んになる。ラニーニャ現象発生時は全球の海面温度が全体的に低く、大気の熱が海洋に吸収されやすく、この現象が卓越するときは、地球全体の気温も上昇しにくい(図-2, 気象庁 2024c; 2024d)。海洋はエルニーニョ現象の発生が多い時期であるエルニーニョモードとラニーニャ現象の発生が多い時期であるラニーニャモードが、十数年前後で、交互に現れる傾向にある(図-3)。ちなみに、1998年に大規模エルニーニョの発生後、2015年前後ま

では、ラニーニャモードであり、この時期の地球全体の気温は上昇しにくい停滞期であった(気象庁 2024d; 広田ら 2021)。

日本の天候や気温もエルニーニョ現象やラニーニャ現象により熱帯付近の海面温度の空間分布が変化することで影響を受ける。海面温度の空間分布の変化により、対流活動が活発になる海域分布が変化して、大気場の気圧配置が変わる。特に日本の冬と夏の気圧配置に影響を与える。着目すべきポイントはフィリピン付近の海面温度と対流活動である。

エルニーニョ現象の発生時は、積乱雲が盛んに発生する海域が通常より太平洋東側にシフトするため、西側にあるフィリピン沖の対流活動は不活発となる。そのため、冬は西高東低の冬型の気圧配置が弱まり、大陸からの寒気の吹き出しが弱くなり、暖冬で気温が高めの傾向となる。また、北日本の雪解けは早くなる。夏は太平洋高気圧の張り出しは弱い傾向にあり、そのため、天候は曇りがちとなり日照不足、長雨のリスクが高まる。一方、ラニーニャ現象が発生したときは、フィリピン沖の対流活動が活発になる。その結果、

冬は、西高東低の冬型の気圧配置が強まり、寒冬で気温が低めとなり多雪傾向となる。夏は太平洋高気圧の張り出しが強くなることで晴天日が多く、高温傾向となる(図-4, 気象庁 2024e)。

ちなみにエルニーニョ現象やラニーニャ現象以外にも、エルニーニョもどき現象(ラニーニャもどき現象)やインド洋での海面温度分布やダイポールモード現象も日本の天候を左右する。エルニーニョもどき現象(ラニーニャもどき現象)は、熱帯太平洋の東部と西部で海面温度が平年より低く(高く)、中央部で海面温度が高く(低く)なることにより、フィリピン付近の対流活動に影響して、ひいては日本の夏と冬の天候にも左右する(気象庁 2024f)。夏季にインド洋熱帯域で海面温度が高いと、インド洋全域で海面気圧が低めになり、赤道に沿って西太平洋まで低気圧場が伸張する傾向となる。このときフィリピン付近を中心に下降流となり、積乱雲の活動が不活発となり、日本付近では太平洋高気圧の北への張り出しが弱くなり、北日本を中心に多雨・寡照となる傾向があり、沖縄・奄美では高温となる傾向が見られる(気象庁 2024e)。一方、インド洋ダイポールモード現象は、平常時と比較した海面温度や大気の対流活動が、インド洋熱帯域南東部で低温・不活発、西部で高温・活発というように、東と西で逆符号の偏差パターンとなることである。インド洋熱帯域の海面温度が南東部で平常より低く、西部で平常より高くなる場合を正のインド洋ダイ

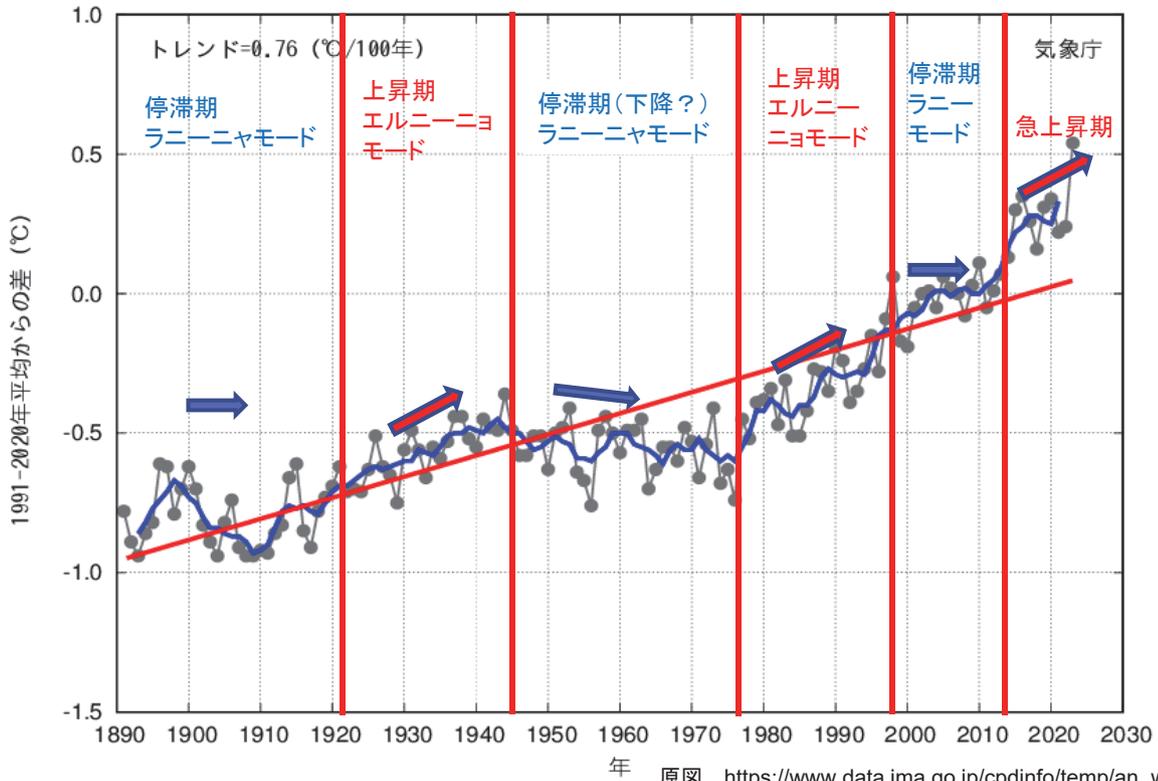
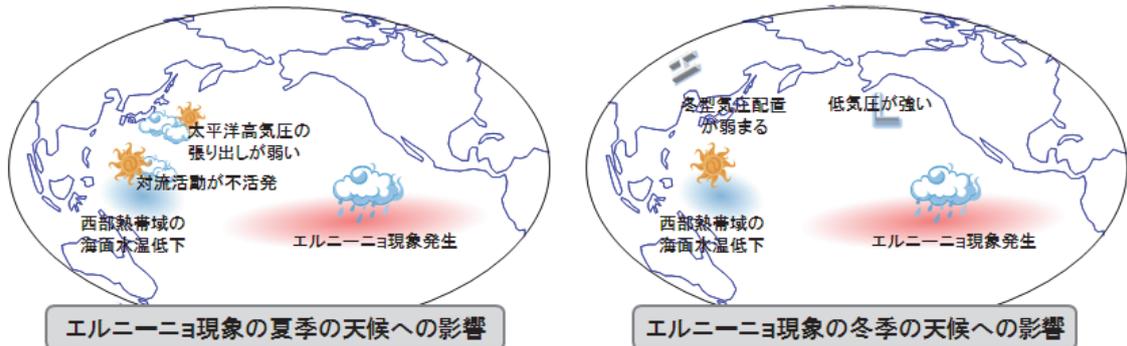


図-3 世界の平均気温偏差およびエルニーニョモードとラニーニャモード（気象庁を基に広田改訂）

エルニーニョでは(夏:寡照(日照不足), 暖冬傾向)

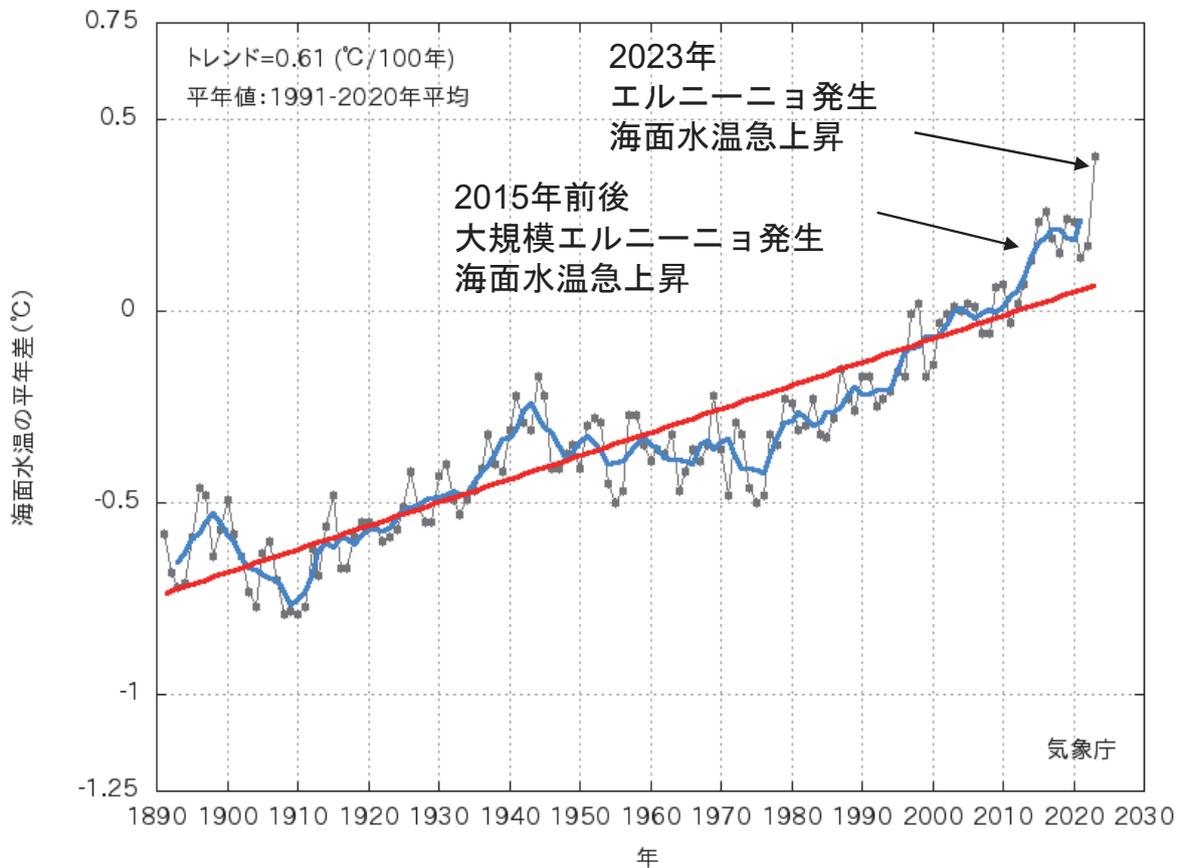


ラニーニャでは(夏:気温:高温, 冬:気温:低温, 多雪傾向)



<https://www.data.jma.go.jp/cpd/data/elnino/learning/faq/whatiselnino3.html> 気象庁

図-4 日本の夏・冬の天候とエルニーニョ, ラニーニャとの関係



https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/glb_warm/glb_warm.html

図-5 海面水温の長期変化傾向（気象庁を基に広田説明追加）

ポールモード現象，逆の場合を負のインド洋ダイポールモード現象と呼ぶ。正のインド洋ダイポールモード現象が発生した年は，日本に高温をもたらす傾向が高い（気象庁 2024g）。これらの現象も数年に一度発生する。

このような，海面水温の影響の観点から，今後，近未来の日本にもたらす気候変動の特徴を推察する。2015年前後の大規模エルニーニョの発生後，1998～2015年前後で生じていたラニーニャモードの気温の停滞期から，地球の気温は再び急激に上昇してきている（図-3）。さらに，この時期から地球の海面水温も同様に上昇している。その後，2020～2022年，ラニーニャ現象は発生したが，地球全体の海面水温は2015年以前よりも高い状態が続いている（図-5）。水の熱容量は大気より大きく，一旦温度が上がる

と大気より下がりにくい性質がある。つまり，全球的な海面水温の上昇傾向からは，地球全体の傾向としては，ラニーニャ的な要素が弱まり，エルニーニョ的な気候がより強まっていると解釈できる。これは，2020年から3年連続でラニーニャが発生し一時的な寒波は発生したものの，冬季の気温は平年より高い傾向が続いていること，春の気温は，2015年以降，高温傾向が継続していること，地球全体の気温が2015年以降，上昇傾向にあることと整合する。さらに，2023年の地球全体の海面水温は気温と共にさらに上昇している（図-5）。つまり，この海面水温の傾向から，2015年度以降の春季の高温傾向と全般的な暖冬傾向（寒波は生じるものの）は，今後も継続すると推察される。また，夏が高温の場合，残暑も続き，秋も高温傾向が

継続されやすい。ちなみに，日本の夏は，フィリピン付近の海面水温が高く，対流活動が活発になりやすい状態の時に高温になりやすい。2023年は，エルニーニョ現象であったが，フィリピン付近の海面水温は高く，対流活動は活発であったので，日本付近は太平洋高気圧が発達して猛暑となった。エルニーニョ現象発生でもフィリピン付近の対流活動が活発であった要因は，冬まで生じていたラニーニャ現象の影響が指摘されている（気象庁 2023）。全球の海面水温が全般的に高くなっている状況では対流活動が活発になる時期や地域はより拡大することも考えられる。そのため，エルニーニョ現象でも猛暑になる確率もより高くなっていくことも想定される。

日本の近年の降水変動

気温上昇により大気中に含まれる水蒸気密度（水蒸気圧）は、より急激に増加する。また、温暖化の進行で北日本を含めて、日本の広範囲で高温化を生じている。そのため、短時間での大雨が発生しやすい対流性の降水条件の時期や範囲が広がっている。したがって、同じ場所で対流活動の活発が継続する線状降水帯の発生に伴う梅雨前線や秋雨前線の停滞や、台風等による豪雨災害も激甚化・広域化してきている。そのため、大雨に伴う浸水（冠水、滞水）被害も生じやすくなる。このような降水現象は時空間的に不均一になりやすいため、大雨および短時間強雨の発生頻度は有意に増加する一方で、降雨日数は有意に減少しており（文部科学省・気象庁 2020）、干ばつのリスクも高まっている。また地域毎で大雨や干ばつの被害程度やリスクにばらつきを生じやすい。これらの気象条件は大雨による冠水や滞水による湿害と共に干ばつによる干害や乾燥害リスクも高まっている状況といえる。

また、エルニーニョ現象が高まる傾向では、夏季の長雨や日照不足の可能性も高まると想定される。このような条件では、作物全体として呼吸量に対する光合成量が低下して、病害抵抗性が弱まり、糸状菌（カビ・菌類）や細菌が発生しやすい、すなわち、病害が発生しやすくなる。降雨が開花期前後に続くことで、不稔による収量減少の

リスク、麦類では、収穫期の長雨で、子実の充実が不足していると穂発芽を生じ、また倒伏による品質低下のリスクが高まる（日本学術会議、2023）。

高温が水稻品質に与える影響

夏季の高温はイネに対して、白未熟米や胴割れ米を生じ、品質低下を招く。2023年は夏季の高温による影響が、新潟の「コシヒカリ」、山形の「つや姫」、北海道の「ゆめぴりか」と国内屈指の高級ブランド米で良く知られている銘柄で顕著に現れたのが象徴的である。

新潟の「コシヒカリ」は高温耐性品種ではなく、2023年の猛暑で、新潟県の一等米比率は4.7%と一等米がほとんどないともみさせる状況で過去最低となった（農林水産省 2024b）。山形の「つや姫」は高温耐性品種と評価されており、これまでの年では、高温の影響を受けておらず、山形県の一等米比率は90%を超えていたが、2023年は、山形県の一等米比率は51.1%と、大きく落ち込み、過去最低となった（農林水産省 2024b）。寒冷な気候帯で栽培している北海道の「ゆめぴりか」は、2023年の記録的な猛暑で初めての高温による基準品率の低下（タンパク質含有量の上昇）を生じた（北海道農政部 2024; 北海道農政部・北海道農産協会 2024）。つまり、山形の「つや姫」と北海道の「ゆめぴりか」の2023年の事例は、高温耐性や気象の両面でこれまでの常識が覆されたことが特筆される。近年、様々な高温耐

性品種の開発と普及も進みだしているが（農林水産省 2024c）、2023年の例のように今後も温度上昇やそれに伴う降水や日照等の気候の変化は急激となることも予想され、さらなる高温耐性品種の開発が求められる、いわゆる“いたちごっこ”の状況となると予想される。

また、米の品質低下は高温ばかりでなく、日照不足によっても生じ、北海道も含めて全国的に発生しうる（広田ら 2021; 日本学術会議 2023）。今後、エルニーニョ現象が卓越する気候条件も十分想定されるので、この観点から育種ばかりでなくより高度な栽培技術の開発も一層必要となる。

ダイズへの影響と降水変動

イネと作付けを同じくするダイズの単収は、東北以南の都府県では2000年前後の180kg/10aであったが、2020年前後は120kg/10aであり、20年で60kg（約3割）も下げる減収傾向である（農林水産省 2024a）。北部九州（福岡県、佐賀県）では2013年より以前は、200kg/10a以上の収量水準で、佐賀県では単収300kg/10a近くまで達したこともあり、全国的にもダイズの単収水準が高かった。しかし、2015年前後以降は、単収は200kg/10aを下回る年が続ぎ、100kg/10a以下の年もあり、“豊作無し、良くて平年作”と言われるほど状況が悪化している。東北以南ではダイズは畑地ではなく主に水田転換畑で作付けさ

れ、排水条件が良好でないなど、土壌条件が必ずしも、ダイズ栽培に適していない。さらにコムギ収穫後の梅雨時期前後での作付けが多く、このような土壌、作付け条件では、大雨による播種遅れ、初期生育不良、湿害、台風による倒伏などで減収を招きやすい。

2023年は北部九州では、猛暑、高温ではあったが、これらの大雨による播種遅れ、初期生育不良、湿害、台風による倒伏などが生じない条件となり、たとえば、佐賀県で、単収211kg/10aと久しぶりに減収を逃れた。また、北海道の十勝やオホーツクでは、ダイズを水田転換畑ではなく本来の畑作物として栽培し、大雨による播種遅れ、初期生育不良、湿害、台風による倒伏も生じにくい作型である。単収も250～300kg/10a前後と高水準である。これらのことから、東北以南のダイズの減収の気象的要因は温暖化による気温上昇が直接的な影響を与えているのではなく、温暖化に伴う大雨などの降水現象の変動が影響を与えており、さらに、必ずしも好適な条件ではない水田転換畑での栽培が、降水による悪影響を助長しているといえる。

北海道の農作物への影響

大規模農業地帯である北海道は国内の農業生産の大きなシェアを占める。したがって、気候変動が北海道農業に与える影響は、国内の農業総生産量に直結する。北海道は寒冷な気候帯であるため、作物の高温影響は生じにくい

と考えられがちである。

ところで、北海道ならではの冷涼な気象条件に適している代表的な畑作物のコムギ（全国シェア約7割）、バレイショ（全国シェア約8割）、テンサイ（全国シェア10割）は、2010年以降の高温と長雨により、減収年がたびたび生じている（広田ら2021）。バレイショの単収は近年、長期的にも減少傾向である（農林水産省2024）。春の低温と夏の高温の組合せが畑作物の減収のリスクを最も高める。春低温と夏高温の組み合わせはラニーニャ現象の時に生じやすい（広田ら2021）。コムギは夏が高温で登熟期間が短縮され、過繁茂で茎数や穂数が多い状態に日照不足が重なると、子実の充実不足で細麦が多発し、製品収量が低下する。開花時期の多雨も収量を減少させる。テンサイは夏から秋の高温多湿条件が褐斑病などの病害発生を助長し、糖分含量の低下を招き製糖量を低下させる（日本学術会議2023）。

2015年以降は春の高温傾向が10年連続で継続しており、冬季の積雪・土壌凍結で作期が限定される北海道では初期生育にはプラスの効果となる。ただし、2015年以降はエルニーニョ傾向の特徴である日照不足や長雨が2～3年に一度の頻度で生じており、この日照不足や長雨による減収を生じている。また、これ以外でも極度の干ばつを生じた場合は減収となる（広田ら2021）。

2023年の猛暑は前述のように、水稲にも影響が及んだ。北海道ではタマネギなどの野菜も多くの品目でこれま

で経験のない顕著な悪影響を生じた。また、テンサイも夏季の高温被害を生じた。一方で、興味深いことに、バレイショとコムギは2023年の顕著な高温にも関わらず、減収とならなかった（北海道農政部2024）。春の高温による初期生育の早まりや改善が、夏季の高温被害を避けることにつながったとみられる（広田ら2021）。

また、北海道では前述のように春季の気温や生育期の積算気温の上昇により、作物や作型の選択肢が広がりつつあり、新規作物としてサツマイモやラッカセイの導入が図られている（広田ら2021）。2023年の気候は、これらの新規作物の導入をさらに広げる機会になったとも考えられる。

謝辞

本原稿は西尾善太氏（東京農業大学）と安武大輔氏（九州大学）に原稿に目を通して頂き、コメントを頂いた。記して謝意を表する。

引用文献

- 気象庁 2023. 令和5年梅雨期の大雨と7月後半以降の顕著な高温の特徴と要因について～異常気象分析検討会の分析結果の概要～. <https://www.jma.go.jp/jma/press/2308/28a/kentoukai20230828.pdf>. (2024年8月15日確認).
- 気象庁 2024a. 過去の観測データ検索. <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>. (2024年8月15日確認).
- 気象庁 2024b. 2023年の日本の天候. https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/stat/tenko2023_besshi.pdf. (2024年8月15日確認).
- 気象庁 2024c. エルニーニョ / ラニーニャ

現象 . <https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/elnino/index.html>. (2024年8月15日確認).

気象庁 2024d. 地球温暖化と十年規模変動 . http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/mar_env/knowledge/ohc/hiatus.html. (2024年8月15日確認).

気象庁 2024e. エルニーニョ / ラニーニャ現象 > エルニーニョ / ラニーニャ現象に関する知識 > 日本の天候に影響を及ぼすメカニズム . <http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/learning/faq/whatiselnino3.html>. (2024年8月15日確認).

気象庁 2024f. 太平洋の海面水温に見られる年～数年規模の変動 . https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/climate/knowledge/pac/pacific_annual.html. (2024年8月15日確認).

気象庁 2024g. インド洋に見られる海面水温の偏差パターンと日本の天候 . https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/climate/knowledge/ind/ind_doc.html (2024年8月15日確認).

北海道農政部 2024. 作物展望 . ニューカン トリー 2024 1月号, 48 - 62.

北海道農政部・北海道農産協会 2024. 令和6年度に向けての米づくり . <https://hokkaido-nosan.or.jp/products/rice/komedukuri/page-9643/>. (2024年8月15日確認).

広田知良・中辻敏朗・小南靖弘監修 2021. 北海道の最新農業気象 . 気候変動に対する営農技術最前線 . 北海道協同組合通信社 . (2024年8月15日確認).

文部科学省・気象庁 2020. 「日本の気候変動2020 一大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書一」(2020年12月公表).

<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>. (2024年8月15日確認).

日本学術会議 2023. 見解 気候変動に対する国内農業の適応策と食料安定供給へ果たす農業生産環境工学の役割 . <https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-k230926-15.pdf>.

農林水産省 2024a. 作物統計 . <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/index.html>. (2024年8月15日確認).

農林水産省 2024b. 米穀の農産物検査結果等 . <https://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/kensa/kome/>. (2024年8月15日確認).

農林水産省 2024c. 令和5年夏の記録的高温に係る影響と効果のあった温暖化適応策等の状況レポート . <https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyondanka/attach/pdf/report-70.pdf>.

統計データから

米の全体需給の状況の推移

今年の夏の猛暑は大変であったが、毎日食べる米がスーパーマーケットなどの売り場から姿を消し、「令和の米騒動」とも言われた。9月に入って新米が出回り落ち着いたが、消費者を一時的に不安にさせた。

そこで、農林水産省のお米を巡る資料から、米の総需要量と生産量・作況指数の推移をポイント的に抜粋し、表-1に示した。

米の総需要量、生産量ともに年々減少している。需要量は1963(昭38)年の1,341万tから2023(令5)年には804万tと60%に、生産量も1967(昭42)年の1,445万tから2023年には791万tの55%にまで減少している。

表-1では需要量に比べ生産量が上回る年をグリーンで、その逆をピンクで示した。1967(昭42)、1975(昭50)、1977(昭

52)年は豊作(作況指数112, 107, 105)で米の余剰が問題となり、過剰米処理が行われた。一方、1980(昭55)、1993(平5)、2003(平15)年は作況指数のそれぞれ87, 74, 90と不作年に当たり、生産量は需要量の80%台程度にしか確保出来ない。

このように、米の短期的な需要量には大きな変動がないものの、生産量はその年の気象の影響に左右される不安定性がある。近年の2015(平27)年以降は、需要量に見合う生産量が安定的に確保されていたが、2024年の米騒動は前年産の作況指数が101と不作ではなかったにも拘わらず、少しの供給と需要のバランスの崩れで生じたものであり、やはり国民の主食である米は余裕のある生産量の確保が重要である。(K. O)

表-1 米の全体需給の状況の推移

年産	1963	1967	1970	1975	1977	1980	1984	1986	1988
総需要量 万t (A)	1,341	1,248	1,186	1,196	1,148	1,121	1,094	1,080	1,058
生産量 万t (B)	1,281	1,445	1,089	1,317	1,310	975	1,185	1,165	993
作況指数	101	112	93	107	105	87	108	106	97
B/A %	95.5	115.7	91.8	110.1	114.1	87	108.3	107.9	93.9

年産	1991	1993	1994	1998	2003	2008	2013	2018	2023
総需要量 万t (A)	1,061	971	861	946	891	842	832	813	804
生産量 万t (B)	960	783	1,198	896	779	882	872	821	791
作況指数	95	74	109	98	90	102	102	98	101
B/A %	90.4	80.6	139.1	94.7	87.4	106	104.8	101	98.3

注) 総需要量は、国内消費仕向量(陸稲を含み、主食用(米菓・米粉を含む)のほか、飼料用、加工用等の数量)である。
生産量は、国内生産量(「作物統計」の水陸稲の収穫量の合計に、飼料用米の数量を加えた数量)である。