

# 温暖化環境における水稻生産

## Rice-Based Agriculture under Changing Climates

○長谷川利拡

○HASEGAWA Toshihiro

1. はじめに 今後予想される大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇やそれに伴う温暖化は、温度や水といった気候資源に依存する作物生産に大きな影響を及ぼす。これまでの研究から、温度の上昇は低温が問題であった地域で低温ストレスを軽減させたり、可能作付期間を長くさせたりする可能性はあるが、一般には生育期間の短縮、呼吸量の増加、高温ストレスの増加、水利用の増加による資源利用効率の低下を招くことが懸念されている。一方、大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇は、光合成を促進して農作物の成長と収量を増加させたり、葉の気孔を閉じ気味にして水利用効率を高めたりする作用を持つ。このように、将来の気候変化が作物生産に及ぼす影響は、プラスに働く要素とマイナスに働く要素、およびそれらの相互作用によって決定される。本稿では、主に水稻を対象として、気候変化が作物生産に及ぼす主要な影響を概説するとともに、温暖化時の水田農業の方向性を議論する。

2. 気候変化が作物生産に及ぼす影響 気候シナリオと作物モデルを組み合わせて将来の主要穀類の生産を予測した研究例<sup>1)</sup>では、CO<sub>2</sub>増加による光合成・成長促進および増収効果を考慮しなかった場合、2050、2080年にはほとんどの地域で減収となるが、CO<sub>2</sub>増加による増収効果を考慮すれば、プラスの影響が見込まれる地域もあり、世界全体では大きな減収はないとされる。しかし、こうした予測には、排出シナリオ、気候シナリオにおける不確実性に加えて、作物の環境応答における不確実性も含まれる。たとえば、大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇は、光合成速度を高めることが実験的、理論的にも示されているが、その程度は種や品種だけでなく、温度や窒素、水分条件に依存し、高温条件や水欠乏条件ではCO<sub>2</sub>増加の効果は大きくなる一方で、窒素欠乏条件では小さくなることが報告されている(たとえば Kimball et al<sup>2)</sup>の総説を参照)。

温度上昇の影響は、生育日数に最も顕著に現れ、温暖化による生育期間の短縮は、将来の収量予測における減収の一要因とされる。また、成長は光合成と呼吸の差し引きによるが、温度の上昇は呼吸による消費を増加させて成長に負の影響を与える。IPCC<sup>3)</sup>は、さまざまな作物モデルによるシミュレーション結果から、温度上昇に対するイネ、コムギなどの収量応答を緯度帯別に集計した。その結果、低緯度地域では、CO<sub>2</sub>増加による増収効果を見込んだとしても、1℃以上の上昇でも減収に転じる場所が多かった。また、中高緯度地帯でも現在よりもおよそ3℃以上上昇すると減収になったことから、食料生産力は1℃の上昇で地域的に低下しはじめ、3℃以上では全球的に減少するものと警告している。

さらに、これらの影響予測には、年々の気象変動に伴う異常温度の影響などは含まれていない場合が多い。種子を収穫対象とする主要穀類においては、短期間でも異常温度に遭遇すると受精障害が発生する。たとえば水稻の場合、寒冷地においては夏季の異常低温に起因する冷温障害が収量変動の最大の要因である。また、これまでのチャンバー実験の結果から、開花期頃の温度が34~35℃以上になると稔実歩合が低下し、40℃以上になるとほぼすべての穎花が不稔になることが明らかにされている<sup>4)</sup>。屋外の水稻群落条件では、日射、風速、湿度などの微気象要因によって、穂の温度が気温と大きく異なる場合があり、圃場での不稔発生予測は容易ではないが、温暖化に

伴って年々変動による異常高温の発生も増加し、高温ストレスによる減収が顕在化することも懸念される。

3. 温暖化環境での生産技術 20世紀に世界の主要穀類の収量は約4倍にも増加した。この間の収量増加には、気候変化よりも、技術進歩が果たした役割の方がはるかに大きい。Parry et al<sup>1)</sup>の研究に代表される将来の食料供給の見通しは、今後も技術進歩による収量増加がこれまでと同様に見込まれるものとして取り扱われているが、その見通しにも極めて大きな不確実性がある。今後予想される気候変化が、作物の生育・収量に与える影響は大きい、将来の食料生産力という観点からは、技術開発や技術選択に依存するところが極めて大きい。

日本の水稻収量の分布の変遷に目を転じると、1950年頃を境に変化して、東北地方や長野県などの寒冷地の収量が、暖地のそれを上回るようになった。寒冷地の増収には、保護苗代の開発や耐冷性品種・技術の導入が大きく貢献した。一方、近年の暖地における低収傾向については、登熟期間の温度の高さが収量の制限要因の一つと指摘されている。さらに、モデルを用いた温暖化の影響評価でも、北日本では増収傾向が、西日本では減収傾向が予測されることが多い。そのため、今後の温暖化が、収量の地域格差をさらに広げてしまうのではないかと懸念もある。

しかし、日本各地の試験場における同一品種の収量の地域間差を解析した例では、暖地における低収傾向は、高温の直接的な影響よりも、寒冷地に比べて生育期間が短く、生育期間中に受ける太陽エネルギーが少ないことが主因であった<sup>5)</sup>。さらに、暖地においては寒冷地に比べて窒素施肥量が少ない傾向にあり、このことも収量の地域間差異に影響していることが示唆された。一方、気候資源を十分に活用することによって得られる潜在的収量の分布は、今日の実際の収量分布とは大きく異なり、暖地の潜在収量が寒冷地に比べて明らかに高かった<sup>6)</sup>。すなわち、今日の水稲生産は、潜在収量からすると抑えた水準で行われており、その傾向は特に暖地において大きいと考えられる。このことは、温暖化環境においても収量を向上させる技術選択が十分に可能であることを示唆している。

4. おわりに 数少ない食料輸出国から、食料の約6割を輸入に依存する日本の食料供給体制は、世界的な食料需給の動向・変動に対して脆弱である。また、温暖化によって水資源の地域的分布が変化する可能性や燃料需要や投機的な資金によって国際穀物市場の価格が大きく変動する可能性も否定できない。これらは、開発途上国の貧困を悪化させるだけでなく、日本の食卓にも影響する恐れがある。

温暖化は国内の作物生産にとっても大きな懸念材料で、高温ストレスを回避したり、高温に耐性を持つ品種を開発したりするなど、環境変化に対処する技術開発が必要である。さらに、より広義の適応として、温暖化をひとつの契機ととらえ、それに伴って変化する農業気候資源量を予測し、地域資源を高度に利活用するための生産技術を提示すること、さらにそれを実現するための生産基盤の必要性和効用を明らかにすることが望まれる。そのためには、作物生産技術(ソフト)分野と生産基盤(ハード)分野とのより密接な連携が有効と考える。

参考文献:2) 1) Parry, M.L. et al. (2004) Global Environ. Change, 14:53-67. 2) IPCC (2007b) Working Group II. 4<sup>th</sup> Assessment Report <http://www.ipcc-wg2.org/>. 3) Kimball, B.A. et al. (2002). Adv. Agron., 77:293-368. 4) 金漢龍ら (1996) 日作紀, 65:644-651. 5) 長谷川利拡ら (2007) 日作紀, 76(別2): 164-165. 6) 長谷川利拡・近藤始彦 (2007) 日作紀, 76(別2):166-167.