

地球温暖化と日本の農業

大山 英 久

目 次

はじめに	3 気温上昇による大地への影響
I 温暖化とは何か	4 気温上昇による水資源への影響
1 温暖化とはどういうことか	5 気温上昇による海洋への影響
2 温暖化認識の経緯	6 気温上昇による災害の発生
II 温暖化と農業	III 個別農作物の状況
1 二酸化炭素濃度が高まることによる影響	IV 食料自給と食料安全保障の問題
2 気温の上昇による高温の影響	おわりに

はじめに

地球が誕生してから46億年、生命が生まれてから40億年といわれている。それ以来、地球環境は変化し、生命も様々に移り変わってきた。人類は最後の10万年前⁽¹⁾に発生したとされている。そしてここ1000年ほど、もっと限定してここ50~100年ほどとっていいかもしれない、人類がもたらした様々な活動の結果、簡単に言ってしまうと急速な工業化と生活の豊かさを求めた結果、地球環境に大きな変化が生じてきている。一つはオゾン層の破壊であり、もう一つは地球温暖化(以下「温暖化」という。)である。

オゾン層は、地球上のほとんどの生命を守る上で重要である。主に二酸化炭素に被われ酸素

のない状態の地球に、光合成により酸素を発生させる生物(藻類)が生まれ、酸素の含まれた大気に被われるようになった。酸素を利用できるようになって生物の活動力は飛躍的に向上した。さらには大気中の酸素からオゾン層が生まれ、有害な紫外線がかなりさえぎられようになり、生物の活動できる場も大幅に広がっていった。しかし、人間の活動によってオゾン層減少の可能性が指摘された。これに対しては、1985年に「オゾン層保護のためのウィーン条約」が結ばれ、これを各国がかなりよく遵守したことにより、オゾン層の問題は、何とかひどい状況に陥らないうちに(現在も対応中であるが)、対処できたのではないかと考えられる⁽²⁾。今後、国際

(1) ホモ・サピエンスとみなす現生人類の起源は、わずか4万年前だとする説もある(リチャード・フォーティ(渡辺政隆訳)『生命40億年全史』草思社, 2003, pp.449,452.)。

(2) 1974年に、米国カリフォルニア大学のRowlandとMolinaが、フロン類によるオゾン層減少の可能性を指摘した。1985年に英国南極観測局のFarmanらは南極のオゾンホールを初めて発見し、また、同年オゾン層保護のためのウィーン条約が採択された。1987年にフロン類の生産と消費を削減するモントリオール議定書が採択され、1989年から規制が開始された。我が国では、1988年にオゾン層保護法(昭和63年法律第53号)の制定と条約の採択(昭和63年条約第8号)が行われた。

的な取り決めによるオゾン層破壊物質の規制が遵守されれば、21世紀半ばには、オゾン層は、破壊以前の状態にまで回復することが見込まれている⁽³⁾。

一方、温暖化は、指摘されながらも、科学者を含め世界各国の共通認識となるまでに時間がかかった。気候変動に関する政府間パネル(以下「IPCC」という。)が設立されたのは、1988年11月であり、気候変動に関する国際連合枠組み条約が採択されたのは、1992年5月(条約発効は1994年3月)である。京都議定書(気候変動に関する国際連合枠組条約京都議定書)が採択されたのは1997年12月の第3回締約国会議(COP3)においてである。温暖化は人間活動によって引き起こされたものである、ということを記したIPCCの第3次評価報告書が出されたのは2001年4月で、温暖化対策の第一歩である京都議定書の発効は、昨年(2005年)の2月である。オゾン層の問題と温暖化の問題を比べると、規制の対象となる中心物質であるフロンと二酸化炭素の大気中への放出の過程、大気中に含まれる量が異なる。また、規制による産業や生活に及ぼす影響が、桁違いに大きいということもあげられる。このため、オゾン層保護と比べて温暖化の方は、対策を進めていくことが容易ではない。

ここ50~100年で地球の平均気温は1℃、日本の平均気温は1.5℃上昇したといわれている⁽⁴⁾。気候には冷夏や暖冬といったような自然の気候変動があるため、1℃位高くなったとしてもたいたことはないと考えがちである。しかし、自然の気候変動は、平均気温で見るとほとんど

吸収され無視できるほどのものであるため、平均気温が1℃上昇するということは大変なことで、その生態系や食料生産、人々の生活に与える影響などは実に大きなものがある。

温暖化が進むと、気温の上昇、雨量の増加、海面の上昇などのほか、異常気象の頻度が増すという。また雨の強さや気温の上昇の仕方も激しくなると予測されている。これによって、森林・草地・湿地・生物多様性などの自然生態系への影響、川の流量などの変化による水資源への影響、さらには水没、侵食、砂浜がなくなるなどの沿岸域への影響など、自然環境への影響が出てくる。このような直接の影響あるいは自然環境への影響を通して二次的に、土壌・作付け・品種・雑草・病害虫などの状況が変わり、それが地域での営農や収量など農林水産業への大きな影響となる。またエネルギー消費の増大、異常気象による家屋や国土への影響、さらには日差しや活動域が広がった病害虫による健康への影響など、温暖化は、人間社会に様々な影響をもたらすと予測されている⁽⁵⁾。

2003年の冷夏、2004年夏の猛暑と過去最多の台風の上陸、集中豪雨の頻発、また、2005年のアメリカのハリケーン“カトリーナ”の被害は記憶に新しい。近年のこれらの異常気象と温暖化に関しては、多くの科学者が、立証はできないが、なんらかの関係があるのではないかと感じているのではないだろうか⁽⁶⁾。

このように温暖化には様々な影響が考えられるが、本稿では、まず温暖化とはどういうことか、どのような過程を経て温暖化が認識されるようになってきたのかということに触れる。次

(3) 気象庁『異常気象レポート2005 概要版 近年における世界の異常気象と気候変動～その実態と見通し～(VII)』2005, p.2.

(4) 内嶋善兵衛『<新>地球温暖化とその影響—生命の星と人類の明日のために—』(ポピュラー・サイエンス 267) 裳華房, 2005, p.59.

(5) 環境省HP「STOP THE 温暖化 環境省2005」<<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2005/index.html>>

(6) 例えば「特集 気候大変動 温暖化は何を引き起こしているか」『世界』731号, 2004.10, pp.73-99.

いで温暖化によって農業がどのような影響をこうむるか、そして食料自給率の低い我が国において、食料安全保障がどうなるかについて取り上げたい。なお、京都議定書や排出権取引等をめぐる政治的、経済的な動きや対応については、本稿では取り上げていない。

I 温暖化とは何か

1 温暖化とはどういうことか

地球温暖化で問題となるのは、主に二酸化炭素であるが、それがどのような状況をもたらすのか、2つの例をあげてみたい。

- ① 今から2億5000万年前のペルム紀末から三畳紀にかけて、生物種の95%が大量絶滅⁽⁷⁾したきっかけになったと考えられているシベリア巨大噴火⁽⁸⁾で放出された二酸化炭素は、炭素換算で2000万トン／年と推計されている⁽⁹⁾。一方、現在地球上で放出されている二酸化炭素は、炭素換算で65億トン(2002年)⁽¹⁰⁾と推計されている。
- ② 全地球凍結(スノーボールアース)という理論がある。プレートが移動し大陸が赤道周辺に集まった時、全地球が凍結していたという仮説である。なんらかの要因によって地球は寒冷化して、極地から次第に氷床が発達していった。氷床は太陽光を反射するし、大陸は赤道付近に集まっているため、極地からの氷の広がりを阻止しにくく、一層の寒冷化がすすみ全球凍結となった。凍結したら太陽光も反射してしまうため、二度と溶けないはずなのになぜ、溶けて今のような地球に戻ったの

か。それに対しては、凍結後1000万年位の間、火山の噴火があり、二酸化炭素が噴出され蓄積されたことによって温暖化が生じ、氷が溶解したというものである⁽¹¹⁾。

これらの例はいずれも仮説であって、完全に認められているものではないが、二酸化炭素が増加することの意味やその威力がわかるのではないだろうか。

(1) 温暖化の効果

温暖化、すなわち二酸化炭素等による温室効果というものは、“悪”のようにとられているが、温暖化そのものはきわめて重要なものである。

大気のない地球の温度を推計すると、平均-18℃である。ところが地球は大気に包まれているため、その温室効果により温度が33℃高まっています、全球平均温度は15℃となっている。これによって、地球は様々な生物が生息できる環境になっている。温室効果は“悪”ではなく、生命にとって不可欠のものである。問題は行き過ぎることである。例えば、金星や火星は、地球同様生命の存在の可能性が考えられていたが、金星は濃密な二酸化炭素に被われその温室効果によって、地表温度は400℃を超えて、太陽により近い水星(大気はほとんどない)の表面温度より高くなっている。また火星は、地球より太陽から遠いとはいえ、大気が薄く二酸化炭素もごくわずかなため、温室効果も、せいぜい5℃位で平均温度も-55℃位とみられている。いずれも生命が存在するには厳しすぎる環境になっている。

温暖化による気温の上昇は、緯度が高くなる

(7) その結果、現在の世界を支配している動物の大多数が登場するきっかけとなったとも考えられている。恐竜の絶滅は6500万年前の白亜期末。

(8) その認識が現在は有力というだけで、大量絶滅は、海洋環境の変化、地理的要因の変化、気候変化、あるいはそれらが複合したものではないか、など様々な説がある。

(9) 高間大介『46億年わたしたちの長き旅』日本放送出版協会、2005、pp.158,208；フォーティ 前掲書、p.305。

(10) 環境省HP 前掲注(5)

(11) ガブリエール・ウォーカー(渡会圭子訳)『スノーボール・アース』早川書房、2004。

につれて大きくなる。また、海洋上より大陸内部のほうがより大きい。平均気温2℃の上昇は、極では5℃前後の上昇になる。地球の平均気温が上がると北極の氷が溶けて海水面が上昇するとよく言われているが、平均気温の上昇で考えられるよりはるかに大きな影響が極には生じるからであり、氷河が溶け出しているというのも同じである⁽¹²⁾。さらに氷が溶けると太陽光の吸収も大きくなり、また、凍土が溶けると大気中に二酸化炭素を放出するなど、その脅威は一層大きくなるといえる。

(2) 温暖化の仕組み

地球温暖化の仕組みは、簡単に記せば次の通りである。

太陽光が地球に降り注ぎ大地を暖め、地表近くを暖める。暖められた大地は赤外線を放射する。放射された赤外線は、大気中の温室効果ガスによって吸収され、そこから宇宙空間と地表に向けて赤外線が放射される。地表に向けられた赤外線は、大地を暖め気温を高めていく、というのがだいたいの仕組みである。太陽光は温室効果ガスを通すため、大地まで到達するが、赤外線は温室効果ガスをあまり透過しない。さらに、気温が高まると、温室効果ガスに吸収された赤外線が宇宙空間に放出される割合が低下し、一層温室効果を高めると考えられている。温室効果を生じさせるのは二酸化炭素だけではない。温室効果が高いものとしては、水蒸気が

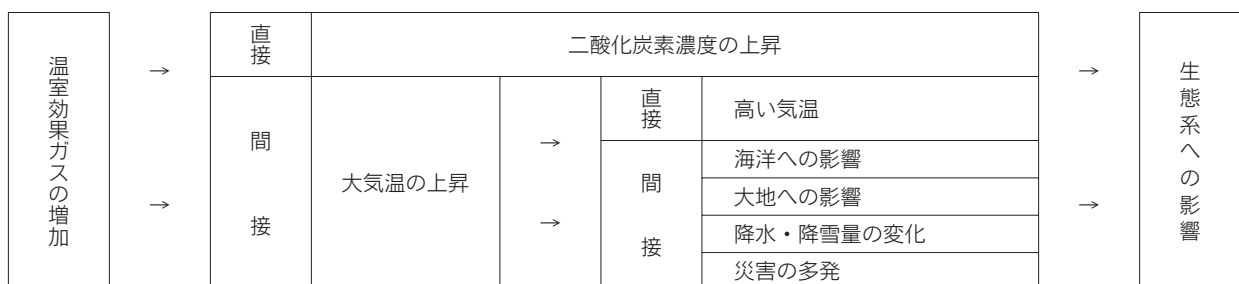
ある(温度によっては二酸化炭素より効果が高い)。気温が高まると空気中に含まれる水蒸気量も高まるため、ここでもまた温室効果を高めることになる。このように温暖化が進むと、温暖化は一層加速される。その他、メタン・一酸化二窒素・オゾン・フロン類など温室効果を生むガスはたくさんあるが、大気に含まれる量と赤外線放射の強さを合わせて考えると、温室効果は水蒸気と二酸化炭素が圧倒的大きく、温室効果のかなりの部分は、この二つが担っているといえる。

(3) 温暖化の影響

温室効果ガスが増えると、直接的な面では、大気に占める割合(濃度)が高まることによる影響があげられる。間接的な面では、温室効果ガスが増えることにより大気温が上昇し、これが様々な影響をもたらす点があげられる。温暖化の影響というときは、ほとんどこの大気温の上昇による事象をさしている。

大気温の上昇の直接的な影響としては、当然のことながら、高い大気温そのものが及ぼす影響があげられる。また、大気温の上昇をもたらす二次的な影響として、海水温の上昇や海面の上昇という海洋への影響、地温を高めることによる大地への影響、降水量の変化、さらには気象災害も発生しやすくなるなどがあげられる。そしてこれらトータルとして、生態系に大きな影響が生じてくる(図1)。

図1 温室効果ガスの及ぼす影響



(出典) 筆者作成

(12) グリーンランドの氷河の溶解速度が加速し、過去10年で海に流れ込む氷の量が約2.5倍になったという観測データが発表されている(「グリーンランドの氷河 溶解加速、10年で2.5倍」『東京新聞』2006.2.17.)。

2 温暖化認識の経緯

温暖化について気象学者の多くは、当初、世界的な温暖化傾向があるとは思っていなかった。通常の、一時的な、地域的なゆらぎとしか見ていなかった。地球は、海・山・川・島・森林・砂漠など場所により地形がことごとく異なっており、また建物その他様々な要因が複雑にからみあって、大気に影響を及ぼすため、気候システムは単純化が困難であり、完璧に法則化してとらえることは不可能である。そのため、温暖化が共通の認識となるまでには随分と時間を要している。ここで温暖化が認識されるに至った過程を、概観してみることにする。

19世紀には、地球の温度を決めるのは太陽からの光で、温められた地表は、宇宙空間に赤外線を放出するが、その一部が大気中の二酸化炭素、メタンガス、水蒸気等に吸収され、空気が暖められ、また一部は下向きに赤外線が放射され、地表面を暖め、地球の温度は二酸化炭素等が存在しないより高いレベルで維持されると理解されるようになっていた⁽¹³⁾。

20世紀前半には、人間の産業活動によって化石燃料を燃やすことで二酸化炭素が放出され、気温上昇は小さいが、地球規模で温暖化が生じているという説も出されていたが、ほとんど顧みられなかった⁽¹⁴⁾。

研究が進み始めたのは、1947年に「世界気象条約」が採択され、1951年には国際気象機関に代わって世界気象機関(WMO)が設立されたあたりからである。これが一つの契機となって、

気象の研究も、個人レベルからグループあるいは組織的なもの、さらには分野を越えた協力体制へと移っていった。1957-1958年には国際地球観測年(IGY)が実施され、南極とハワイに、二酸化炭素濃度を測定できる観測機器が設置された。二酸化炭素の濃度は、年々、著しい上昇を示した⁽¹⁵⁾。

1950-1960年代を通じて、二酸化炭素の蓄積による温暖化が指摘されていたが、それについては、緊急に警告するほどのものでないと認識されていた⁽¹⁶⁾。

1970年代初めは、地球は寒冷化しており、氷期に向かっているという考えが支配的で、気候変化のかなりの部分は、火山噴火によると考えられていた。また、1970年には、最初のアースデイ(地球の日)が開催された。

一方、気候に関する計算機によるモデリングが試みられ、1967年に米国海洋大気庁の真鍋淑郎博士のグループは、二酸化炭素濃度が変化したとき、地球平均気温がどう変化するかを導き出した。二酸化炭素の倍増に対して2℃の上昇であった。しかしこれはきわめて単純化したモデルであり、1975年に行ったモデルでは、3.5℃の上昇であった⁽¹⁷⁾。

1976年8月2日号の『ビジネス・ウィーク』は、「世界は涼しくなりつつあるという考えが有力である」⁽¹⁸⁾という記事を載せたが、翌1977年8月8日号では「二酸化炭素が世界最大の環境問題として世界の温度を上昇させる恐れがあり、長期的にすさまじい影響をもたらすかもしれない」⁽¹⁹⁾という記事を載せている。

1940年代から1960年代にかけての一時的な北

(13) スペンサー・R・ワート(増田耕一・熊井ひろ美訳)『温暖化の<発見>とは何か』みすず書房, 2005, pp.9-10.

(14) 同上, pp.14,28-29.

(15) 同上, pp.45-52.

(16) 同上, pp.57-59.

(17) 同上, pp.143-144.

(18) "The World's Climate Is Getting Worse." *Business Week*, No.2443, 1976.8.2. p.49.; ワート 前掲書, p.146.

(19) "CO2 Pollution May Change the Fuel Mix." *Business Week*, No.2495, 1977.8.8. p.25.; ワート 同上

半球の寒冷化が、温暖化の認識を遅らせた。しかし、観測体制・理論・計算機モデル・研究者の連携などの進展により、1980年代初めには、20世紀末までに二酸化炭素による温暖化が自然の気候変動のノイズ・レベルを超えて現れ、2000年頃には地球温暖化の明らかな証拠が出てくると予測されるようになった。しかし大部分の専門家は、現在の傾向は一時的なゆらぎで、温暖化が将来も続くという確固たる証拠はないと見ていた⁽²⁰⁾。

1983年に米国環境保護庁(EPA)は、大幅な温度上昇が数十年後に起こる可能性もあり、破局的な結果をもたらすかもしれないと、政府機関として、初めて地球温暖化の脅威について明言した⁽²¹⁾。

1985年には20カ国が「オゾン層保護のためのウィーン条約」に署名し、1987年には「モントリオール議定書」が定められた。

1988年には「変化しつつある大気—地球安全保障にとっての意味に関する国際会議」(通称トロント会議)が開催され、初めて世界各国の政府に、温室効果気体排出削減の厳格かつ具体的な目標を設定することを求め、「2005年までに二酸化炭素の放出量を1988年のレベルより20%削減されるべきだ」という声明を採択した⁽²²⁾。この年、アメリカでは、熱波や早魃の発生、議会の聴聞会での証言⁽²³⁾をマスコミが大々的に取り上げたこともあり、温室効果への認識が大幅に高まった。また、IPCCが設立された。

IPCCは、科学の専門家だけでなく各国政府の代表者も含めた。

1990年に出されたIPCCの最初の報告書は、世界が温暖化しつつあると結論付けた。1995年、IPCCは第二次報告書で、「全地球の気候に対して識別しうる人間の影響が存在することが示唆される」と表明した。1997年に第三回締約国会議(COP3)が京都で開かれ、京都議定書が採択された。2001年のIPCCの第三次報告では、世界は急速に温暖化しているという結論を下した。そして、2005年2月に京都議定書が発効した。

地球温暖化の知見は、このように社会的生産物であり、何千人もの専門家の研究や討論の結果生じた判断の総意といえる⁽²⁴⁾。ところが最近になってもまだ、データに不確かなところがあるとか、人間が活動すれば二酸化炭素が排出されるのだから、現在の温暖化対策は意味がない、などという論調が見られる⁽²⁵⁾。先に記したように、気候システムは複雑で完璧にとらえることはできない。当然かなりのゆらぎや不確かさが生じざるを得ない。しかし、上記の温暖化の認識過程で見てきたように、大きな流れとしては温暖化の方向をさしている。予測どおりとなれば、大変な問題が生じるが、まだ不確かさが残っているという科学上の問題に対しては、予防原則を適用すべきであり、温暖化については、温暖化が進んでいるということを前提に、対応していくべきであろう。

(20) ワート 前掲書, p.154.

(21) Seidel Stephen and Dale Keyes, *Can We Delay a Greenhouse Warming?* (2nd Corrected Ed.). Washington, DC: Environmental Protection Agency, 1983.; ワート 前掲書, p.185.

(22) カナダのトロントで先進国首脳会議(G7)閉会直後に開催された。40数カ国から300人以上の気候研究者、法律家、政府関係者、ビジネス関係者などが参加した。この排出削減目標は、その後の京都議定書交渉の中で、海面上昇による国土の消失など、地球温暖化の深刻な影響を受ける島しょ国や環境NGOの主張となった。

(23) 「長期的な温暖化が進行中で、温室効果のせいではないかと疑われる。また、地球温暖化は、生命にかかわる熱波だけでなく、嵐や洪水を頻繁に引き起こす可能性がある」ワート 前掲書, pp.195-196.

(24) 同上, p.242.

(25) 例えば、「人為的温暖化論は真偽不明」『毎日新聞』2005.11.29; 「京都議定書と温暖化論」『毎日新聞』2005.12.24.

IPCC の第三次レポートの政策決定者向け要約 (SPM: Summary for Policymakers) で示されている観測結果と今後の予測は、以下の通りである⁽²⁶⁾ (表記はほぼ要約の通り)。

(観測結果)

① 観測成果が増えたことによって、気候システムにおける温暖化しつつある世界及びその他の変化についての全体像が明らかになっている

- 地球の平均地上気温は、20世紀に約0.6℃上昇した
- 気温は、高さ 8 km までの大気において、過去40年間上昇してきた (10年当たり0.1℃)
- 雪氷面積は減少している (1960年代以降、積雪面積の10%が減少した可能性がかなり高い)
- 地球の平均海面水位は上昇し、海洋の貯熱量は増加した (20世紀に、地球の平均海面水位は0.1~0.2m上昇)

② 人間活動による温室効果ガスおよびエアロゾルの排出は引き続き大気を変化させ、気候に影響を与える

- 現在の二酸化炭素濃度の増加率は、少なくとも過去 2 万年間で例のない高い値である
- 過去20年間の人為起源による二酸化炭素の大気への排出のうち、約 4 分の 3 は化石燃料の燃焼によるもので、残りの大部分は土地利用の変化、とりわけ森林の減少による
- 今のところ、人為起源による二酸化炭素の排出量の約半分が海洋と陸域で吸収されている

③ 近年得られた、より確かな事実によると、最近50年間に観測された温暖化のほとんどは、人間活動に起因するものである

(予測される現象)

① 21世紀を通じて、人間活動が大気組成を変化させつづけると見込まれる

② 地球の平均気温と平均海面水位は、IPCC SRES シナリオ⁽²⁷⁾ に基づく予測結果のすべてにおいて、上昇する

- 気温は、1990~2100年の間で1.4~5.8℃上昇
- 気温の上昇は、特に北半球の高緯度で寒候期に顕著である可能性がかなり高く、特に北アメリカ北部、アジアの北部と中央部での温暖化は、地球の平均より40%以上の温暖化
- 地球の平均水蒸気量と平均降水量は、21世紀中は増加
- 北半球の積雪域や海水域はさらに減少し、氷河や氷帽は広範囲にわたって後退
- 海面上昇は、1990~2100年の間で0.09~0.88m上昇

③ 人為起源の気候変化は、今後何世紀にもわたって続くと思込まれる

II 温暖化と農業

農業は大自然の営みの中で行われる。それぞれの地域の気候風土のもとで、今日の農地が作られ農業が行われてきた。ハウス栽培のように自然の影響を受けない形態や、水耕栽培のように大地から離れた栽培も行われているが、農業全体からすればその比率は小さい。そのような形態は今後も増えていくと思われるが、大部分は大自然の影響を受けながら行われる。このため、各地域、各国で少しずつ異なった農業が行われ、収穫される農作物も異なったものとなっている。

農地の特色としては、① 生産不可能性、② 移動不可能性、③ 外延性、④ 不可滅性、⑤ 地域性、などがあげられる⁽²⁸⁾。もちろんこれは大きくとらえた場合の話で、干拓や開墾によって

⁽²⁶⁾ IPCC 編, 気象庁・環境省・経済産業省監修『IPCC 地球温暖化第三次レポート 気候変化2001』中央法規, 2002, pp.10-22.

⁽²⁷⁾ 『IPCC 排出シナリオに関する特別報告書 (IPCC Special Report on Emissions Scenarios)』2000.

農地を作り出すことができるなど、細かなところでは一部あてはまらないところもある。このように農地は製造業などの資本と較べて、より固定的な面が大きい。地球温暖化が進むと、特に⑤の地域性に大きな影響があらわれる。地球温暖化は、この地域性に基づいた農業を、全国的あるいは全地球的にシフトさせ、農業構造を変えてしまう可能性がある。

農業生産量とは、収穫（単位面積当たり）×作付面積、である。近年の米の生産調整のような例は別であるが、上記の農地の特色からも明らかのように、作付面積は大きく変わらない。生産量の変動を規定しているのは収穫（単位面積当たり）である。そして、収穫を規定している大きな要素としては、① 天候等の自然条件、② 農業技術、③ 農業基盤投資、があげられる⁽²⁹⁾。我が国においては、②と③はかなりのレベルに達しているといえる。ところが、それでも①の天候等の状況によっては不作もある。記憶にあると思われるが、平成5（1993）年の米生産高は、作柄指数74で、26%の減収となり、急遽タイ米などの輸入が行われた。

このように天候等の自然条件、広くいえば農業生産を行っている地域の気候風土の影響は、農業技術が進展し基盤整備が進んでも、なかなか抜けきれものではない。さらに、厳しいあるいは新しい自然条件に適応した農業技術や農業基盤ができあがっても、それに対応して作付けの種類・場所・時期や除草・病虫害の防除などの日常の基本的な農作業技術を変えていかなければならない。このような状況に対応してい

くのは簡単なことではなく、また新しい農業技術に慣れるまでには相当の時間がかかることでもある。

以下では、温暖化が農業に及ぼす影響について概観する。

1 二酸化炭素濃度が高まることによる影響

一般的に、最も基本的であるC3植物⁽³⁰⁾の収量と二酸化炭素濃度との関係を調べてみると、肥料と水分をよく補給し、病虫害防除をよく行ったとき、現在の大气中の二酸化炭素濃度（約370 ppm）より高い450～500ppm以上の濃度では、収量が26%位増加（9%位の誤差あり）すると推測されている。この増加は、高い二酸化炭素濃度大気の肥料効果と呼ばれている。ただし、十分な肥料、特にリン酸肥料と窒素肥料を施す必要がある⁽³¹⁾。

また高い二酸化炭素のもとでは、C4植物⁽³²⁾よりC3植物のほうが収量が高くなるので、飼料用作物としては、サイレージ用トウモロコシ（C4植物）の栽培からペレニアルライグラス、オオムギ、ダイズなどのC3植物への転作が進む可能性がある⁽³³⁾。

2 気温の上昇による高温の影響

温度上昇に伴って、植物の光合成速度は上昇するが、ある温度を超えると減少する。温暖化の個々の農作物、果樹、畜産等への影響については「Ⅲ 個別農作物の状況」で取り扱うこととして、ここでは気温上昇による影響を、雑草と病虫害にしぼってとりあげる。

(28) 荏開津典生『農業経済学 第2版』（岩波テキストブックス）岩波書店、2003、p.4.

(29) 同上、pp.30-31.

(30) C3植物は、中湿で温暖な気候帯で生育するイネ、ムギ、ダイズ、葉菜類、果樹類、樹木など、現在知られている約50万種の植物のほとんどがこれに属する。二酸化炭素濃度への反応は強い（内嶋 前掲書、p.125.）。

(31) 内嶋 前掲書、p.128.；清野裕「地球温暖化による農業植物への影響」『遺伝』45巻9号、1991.9、pp.25-29.

(32) C4植物は、高温・乾燥・強光下で生育し、トウモロコシ、雑穀、サトウキビ、ローズグラスなど、現在500種ほどが知られている。二酸化炭素濃度の低かった白亜紀（1億3500万年前から6500万年前）に初めて出現したと考えられていて、二酸化炭素濃度への反応は弱い（内嶋 前掲書、p.125.）。

(33) 内嶋 前掲書、pp.140-141.

(雑草)

気温が上昇すると、雑草の種子の芽だしが早くなり、また、活動期間も長くなり、成長も旺盛となる。このため、雑草防除は大変な作業になると予想される。また、寒冷地域へ分布が拡大することも予想される。雑草の繁茂による収量の低下は、10~20%くらいと推計されている⁽³⁴⁾。

東南アジアの熱帯や亜熱帯には、日本と異なる水田雑草が多数存在する。これらは人為的に持ち込まれない限り、日本には侵入しないが、もし侵入したとしても日本に定着するためには、日本の冬の低い温度条件が壁となっている。しかし、温暖化によって冬の気温が高まると、温度によっては定着が可能になると推定されている⁽³⁵⁾。

除草剤には散布する適期があるが、温暖化によって雑草の生育ステージが変わってくるので、今までと違った処理が求められる。除草剤によっては、高温時に処理をすると稲に害をもたらすものがあつたりするので、薬剤の取り扱いには一層の注意が必要となってくる⁽³⁶⁾。

(病害虫)

温暖で湿気の多い気候は、病害虫の増殖にとっても好適な環境である。温暖化によって、病害虫の発生を抑える冬の低温がやわらぎ、1年を通じて活動が活発になる。気温が高くなると、低緯度地帯に多い病原菌や昆虫・害虫類が高緯度地帯にも広がり、さらにそれらの活動期間も長くなり、病虫害被害が拡大すると予想される。

害虫の生存率や発育速度は、温度に依存して

変化する。温暖化は、生存率と発育速度の両者を変化させ、害虫の年間発生世代数の増大、越冬時の生存率の増加、発生時期の早期化など、発生パターンを変化させる。病害数については、熱帯地域は温帯地域よりトウモロコシで1.5倍、イネ・柑橘類・トマト・マメ類で5~10倍くらい多くなっているようである⁽³⁷⁾。

昆虫の発育速度は、発育が見かけ上ゼロとなる気温として定めた発育ゼロ点からある温度までは直線的に増大し、年間の発生世代数も増加し、農作物の被害も増大すると予測されている。その温度を超えると発育速度は急速に低下する。そして、①温暖化の幅が大きい、②現在の年平均気温が高い、③発育ゼロ点が高い、④有効積算温度定数が小さいときに、昆虫の発生世代数の増加量は大きくなる。③や④の値の小さいアブラムシ類やダニ類のような害虫は、特に大きく世代数を増やす⁽³⁸⁾が、貯穀害虫は③と④の値が大きいため、世代数の増加は見られないであろうと考えられる⁽³⁹⁾。アブラムシは、2℃上昇すると4~5世代増えると予測されている。作物の虫媒ウィルス病の大部分はアブラムシによるため、温暖化によって、作物の被害が増大すると予想される⁽⁴⁰⁾。カブトムシ類、カイガラムシ類、チョウやガ類は増加量が小さい。水田では、クモ類以外の天敵類(ウンカヨコバイ類卵寄生蜂、カメムシ卵寄生蜂、ガ類幼虫寄生蜂など)は、一般に害虫より増加世代数が多いので、温暖化においては天敵類が有効に働く可能性がある⁽⁴¹⁾。

⁽³⁴⁾ 内嶋 前掲書, pp.143-144.

⁽³⁵⁾ 富永達「温暖化による雑草の発生と分布の変化」『農林水産技術研究ジャーナル』24巻10号, 2001.10, pp.31-35.; 農林水産省『近年の気候変動の状況と気候変動が農作物の生育に及ぼす影響に関する資料集』2002, p.150.

⁽³⁶⁾ 同上(農林水産省), p.151.

⁽³⁷⁾ 内嶋 前掲書, pp.144-145.; 山村光司「温暖化と害虫発生」『農林水産技術研究ジャーナル』24巻10号, 2001.10, pp.36-43.

⁽³⁸⁾ 温暖化によりカメムシ類やダニ類の発生も多くなり、リンゴやナシの被害も多くなっている。

⁽³⁹⁾ 桐谷圭治「日本産昆虫、ダニ、線虫の発育零点と有効積算温度」『農業環境技術研究所資料』21号, 1997.3, pp.1-72.

⁽⁴⁰⁾ 桐谷圭治「地球温暖化と害虫相の変化」『農林水産技術研究ジャーナル』22巻4号, 1999.4, pp.29-35.

害虫の発生量は、競争種や天敵などとの関係による面も大きいいため、単独で予想するのが難しい。害虫については、温暖化によって影響を受ける競争種や天敵との相互関係を総合的に調べていく必要がある⁽⁴²⁾。

3 気温上昇による大地への影響

温度・湿度、降雨、海面上昇などの変化によって、土壤環境に様々な影響が生じる⁽⁴³⁾。

(土壤有機物)

温暖化による温度上昇によって、地温が高まる。土壤有機物は地温が高いほど分解が促進されるため、土壤有機物の無機化が促進される。また、土壤有機物の分解が促進されることによって、大気中の二酸化炭素濃度がさらに増加し、温暖化が加速すると考えられる⁽⁴⁴⁾。

(土壤微生物)

冬季の気温上昇や、夏季の高温と高温時間が長くなることにより、高温や乾燥に強い菌群の優占化が生じ、土壤微生物相が単純化することが予想される。培養実験では、温度上昇に伴って細菌の多様性の低下が見られるが、特に25℃から35℃の間で低下が著しい。これによって土壤の質の低下や、環境変動に対する土壤の緩衝力が弱まることが予想される⁽⁴⁵⁾。

(土壤侵食)

温暖化は対流型降雨を増加⁽⁴⁶⁾させ、それにより降雨強度が高まると、土壤に降雨がしみ込

む進入強度が高まって、土壤侵食が増大すると考えられる⁽⁴⁷⁾。これによって生産力の高い表土が失われ、肥沃度の低い下層土が混入することになり、作物の収穫量が減少することが予想される⁽⁴⁸⁾。

4 気温上昇による水資源への影響

地球上には約14億km³の水が存在するが、淡水はそのうちの2.5～2.6%にすぎず、2%は氷河や氷床となっている。実際に利用可能な淡水は0.6%程で、さらに、比較的使用しやすい河川水や湖沼水として存在するのは、わずか0.008%である。気候変化が激しくなると、洪水や逆に水不足や干害などが起こりやすくなり、水の需給バランスが崩れやすくなる。

気温が上昇すると蒸発散量が増えるため、河川の流量が減少する恐れがある。これは、降水量が増加すれば相殺されるが、気温が上昇すると使用する水の量も増加するため、降水が減少すると、現在用水量の65～70%を使用している農業用水への分配も減少し、農業生産への影響が出てくる可能性がある。

また、温暖化によって積雪地帯での冬の雪が雨になったり、融雪が早まったり、積雪量が少なくなったりすると、河川流量は1～3月に増え、4～6月に減少することが予測され、農作物の作期や作付けに影響が出てくる⁽⁴⁹⁾。

(41) 農林水産省 前掲書, p.168.

(42) 原沢英夫・西岡秀三編『地球温暖化と日本 自然・人への影響予測 第3次報告』古今書院, 2003, p.134.

(43) 農林水産省 前掲書, pp.148-149.

(44) 竹中眞・早野恒一「土壤有機物の消長に及ぼす影響の解明」農林水産技術会議事務局編『農林水産生態系を利用した環境変動要因の制御技術の開発』(研究成果339), 1999, pp.232-236.

(45) 横山和成「耕地土壌における微生物相の変動の解明」同上, pp.244-248.

(46) 短時間に多量の雨が降る割合が増加することを意味する。総降水量に変化がなくても、対流型降雨が増大すると、局地的に旱魃を生じさせる可能性があり、また、土壤水分を不足させ、作物の生育に影響を及ぼす。(清野 裕「地球温暖化による農業植物への影響」『遺伝』45巻9号, 1991.9, pp.25-29.)

(47) 坂西研二「環境変化が土壤侵食に及ぼす影響の解明」農林水産技術会議事務局編 前掲書, pp.236-239.

(48) 原沢・西岡編 前掲書, pp.141-142.

5 気温上昇による海洋への影響

海面が上昇して農地が水没したり、地下水の上昇・塩類化などが生じて農業生産物に影響が生じる可能性がある。もちろん農地の場所や土壌条件等によって異なってくる。

海面は、2100年には、1990年より9～88cm上昇すると予測されている⁽⁵⁰⁾。日本ではこれより高くなると考えられている。1m海面が上昇すると、平均潮位以下の土地と人口は、現在の861km²、200万人から2339km²、410万人に、氾濫危険地域と人口は6268km²、1174万人から8893km²、1542万人に増大する⁽⁵¹⁾。当然堤防の新設や嵩上げ等の対応が必要となろう。

6 気温上昇による災害の発生

温暖化は平均気温の上昇だけでなく、異常高温、乾燥や早魃、豪雨、暴風、台風などの頻発をもたらす。また、森林火災を引き起こすなど、気象災害が発生しやすくなる。食料の多くは春から初夏にかけて種をまき、秋に収穫する夏作物が多い⁽⁵²⁾が、これらの気象災害によって、食料生産が低下する可能性が大きくなる。

Ⅲ 個別農作物の状況

本章ではいくつかの農作物を取り上げて、温暖化が個々の品目にもたらす影響やその対策等について、簡単にまとめてみた。

(稲)⁽⁵³⁾

温暖化の影響は、移植時期(田植え)、生育期間の短縮、病害虫の発生などに出てくるものと考えられる。

二酸化炭素濃度が高まると、成長速度が上昇して収量は増えるが、施肥窒素量が少ないと収量増加効果も小さい。また、二酸化炭素濃度が高まると、白米の蛋白含量が低下する。

気温と収量に関しては、収穫逓減の法則が当てはまる。すなわち、イネは、20℃以下では完全に不稔になるが、23℃以上になるとほとんど実るようになり、35℃を超えると再び不稔の割合が増加する。適温は23～35℃という狭い範囲に限られている。高温によって発生する開花期の不受精や出穂後の高温、登熟期間中の高温などは、収量の減収や品質の低下を生じさせる可能性が高くなる。高温による減収は、二酸化炭素濃度が高まるほど大きくなる⁽⁵⁴⁾。高緯度地帯の東北地方から北海道や標高の高いところでは、増収が見込まれる。ただし、現行の品種をそのまま栽培すれば、生育期間が短縮されるため、収量が低下することが予想される。また、気温の上昇は、冷害による被害を減少させるが、病虫害の被害を増やす可能性が出てくる⁽⁵⁵⁾。一方、西南日本の各地では、気温上昇によって生育が早まり、栄養成長期が短くなり、イネが吸収する日射量が少なくなって、乾物生産量が減少するため減収が見込まれる。ただし、移植日を早めて栽培すれば増収が見込まれる。

高温に対する対策としては、①高温耐性の

(49) 農林水産省 前掲書, pp.148-149.; 食料・農業・農村政策審議会 農村振興分科会 農業農村整備部会 企画小委員会『世界の水資源とわが国の農業用水 企画小委員会報告』2003, p.2. <http://www.maff.go.jp/nouson/keikaku/kikaku_syoiinkai/mizusigen/mizusigen.pdf>

(50) 本稿「Ⅰ 温暖化とは何か」の章末参照。

(51) 『地球環境ハンドブック 第2版』朝倉書店, 2002, p.197.

(52) 内嶋 前掲書, p.129.

(53) 農林水産省 前掲書, pp.102-119.; 内嶋 前掲書, pp.129-132.; 原沢・西岡編 前掲書, pp.143-148.

(54) 金漢龍ほか「高温・高CO₂濃度環境が水稻の生育・収量に及ぼす影響」『日本作物学会紀事』65巻4号, 1996. 12, pp.644-651.

(55) 岩切敏「水稻生産と気候変化・気候変動」『気象研究ノート』162号, 1988.7, pp.95-106.

強い品種の採用、②栽培期を早めることで出穂開花期の高温の回避、などがあげられる。登熟期間（穂が出てから40日間）が、気温の最高期にあたると、腹白米や心白米が多く発生し品質が低下する。このため、栽培を早めて気温が高くならないうちに登熟期になるようにする、というような工夫が必要になってくる。高温に対する適応においては、品種によって差があるので、適切な品種、あるいは適応する品種への改良が必要となる。

いもち病は、低温・多雨・日照不足・多窒素等の条件下で発生するため、温暖化によって発生危険地帯が減少するとともに、危険地帯が東北部や北海道に移行すると予想されている。逆に、紋枯病やもみ枯細菌病は、高気温で発生しやすくなる⁽⁵⁶⁾。

イネ縞葉枯病ウイルスは、イネが移植された直後の短い期間（1か月程度）にのみ感染する。ヒメトビウンカの成虫が、移植直後のイネを吸汁して、媒介する。温暖化によって、ヒメトビウンカの発生時期が早期化すると予測される。この結果、ヒメトビウンカの成虫の発生とこのイネの感受期との同調性が変化し、イネ縞葉枯病の発生地域がシフトする可能性がある⁽⁵⁷⁾。

イネの害虫であるニカメイガは、一般的に1年に2世代生じる。すなわち2化するため、ニカメイガ（二化螟蛾）と名づけられているが、地域によっては、3化あるいは1化のところもある。二酸化炭素濃度が2倍になると予測される2060年には、日本の多くの地域で3化する。つまり1世代増加すると予測され、イネの被害量も増大する可能性がある⁽⁵⁸⁾。

北陸地方や東北地方では、積雪が少ない年にはツマグロヨコバイが大発生しやすい。ツマグロヨコバイは、イネの養分を吸う吸汁害虫であり、イネ萎縮病の媒介者でもある。温暖化で降雪量が減少すると、ツマグロヨコバイの発生量が増大し、イネの被害量が増大する可能性がある⁽⁵⁹⁾。

（小麦）

イネと較ベコムギは、気温が上昇すると穂数や光合成速度が減少し、収量が低下する。気温の上昇は、出穂時期を早め、幼穂形成期に低温に遭遇する機会が大きくなり、凍霜害の発生の確率が高まる。また、気温の上昇によって、稈長（かんちょう）が増大することで倒伏が多くなる。これらによって、収量がさらに減収する可能性が高くなる⁽⁶⁰⁾。一方、二酸化炭素濃度の上昇は、収量を増加させると予測されている⁽⁶¹⁾。

冬コムギに対する雑草は、コムギより生育可能限界温度が低いので、気温の上昇は、雑草の発生期間の延長、越冬率の向上、春期の発生期間前進などの影響をもたらす。また、ムギに対する強害雑草であるカラスムギは、二酸化炭素濃度が上昇すると生育が促進される⁽⁶²⁾。

（大豆）

気温の上昇は、子実の生長期間を短縮させるため、収量を減少させると考えられる。開花期などに降水量が減少した場合には、減収の可能性が高くなる。気温、地温とも高温になると、大豆の根粒着生量と窒素固定能が低下する。気温が高くて地温が高温にならないければ問題はないが、気温が高くなると乾燥して地温も高くなる可能性が高い。地温が高くなる場合は、窒

⁽⁵⁶⁾ 農林水産省 前掲書, pp.155-158.

⁽⁵⁷⁾ 山村光司「温暖化と害虫発生」『農林水産技術研究ジャーナル』24(10), 2001.10, pp.36-43.

⁽⁵⁸⁾ 同上

⁽⁵⁹⁾ 同上

⁽⁶⁰⁾ 農林水産省 前掲書, pp.120-121.; 和田道弘「小麦の生理機能に及ぼす影響の解明」農林水産技術会議事務局編 前掲書, pp.207-211.

⁽⁶¹⁾ 原沢・西岡編 前掲書, p.149.

⁽⁶²⁾ 農林水産省 前掲書, pp.153-154.

素肥料を施すことも必要となる。温暖化による気温の変化は、子実の生長期間が移動して日射環境が変わるため、収量に影響を与える。二酸化炭素濃度の上昇は、収量を増加させると予測されているが、降水量が減少した場合は、収量が減少すると考えられる。大幅な収量減少の予測は少ないが、異常気象の度合いが増えると干ばつなども多くなり、収量の不安定性が増すことになる⁽⁶³⁾。

品質に関しては、高温がどの成熟段階の時にあたるかによって、含有される成分量が変わってくる。例えば、最近話題となっているイソフラボンは、登熟期の高温で含有率が低下する⁽⁶⁴⁾。

ダイズや野菜の食葉害虫であるハスモンヨトウは、現在の越冬地は、太平洋岸の一部地域に限られているが、2℃の温暖化後は、越冬地が九州、四国、中国地方から千葉県までの広い範囲に拡大し、発生回数も、年1回程度増加すると予測されている⁽⁶⁵⁾。

(トウモロコシ)

出穂期頃に35℃以上の高温に遭うと、不稔障害などが発生する危険性が高い。気温が上昇した場合、札幌のような寒冷地では収量が増加し、都城のような暖地では収量が減収する、と予測される⁽⁶⁶⁾。また、二酸化炭素濃度が高まると、収量が減収すると予測されている⁽⁶⁷⁾。

(野菜)

野菜の多くは温帯性の作物で、高温期の栽培

は困難なものが多い。しかし、耐暑性品種の導入、高冷地栽培、施設や資材の活用によって、生育適期でない盛夏でも栽培できるように技術開発が進んでいる⁽⁶⁸⁾。今後さらに、温暖化による一層の温度上昇に対応していく必要がある。果菜類の最も重要な害虫であるミナミキイロアザミウマは、東北以南の地域で発生しているが、冬の休眠性がなく、また低温耐性が弱く露地越冬は困難である(越冬は主に加温施設)。温暖化によって冬期の気温が上昇すると、露地越冬可能地域が増大する。また越冬量が増大して被害が増大する恐れがある。気温の上昇によって世代数も増大し、発生する個体数も相当増加する。ただし夏の高気温は、発生を抑制するので個体数を抑制する方向に働く。アブラナ科野菜の害虫であるコナガは、休眠性がなく、西南暖地では冬期も発育を続ける。温暖化によって、発生の早期化や継続が生じ、被害が増大すると予測される。また、気温が2℃上昇した場合、世代数は、多くの地域で2世代増加すると予測される⁽⁶⁹⁾。

各種野菜の白絹病は、温暖化によって地温が高くなると病原菌の増殖が盛んになる。冬の気温上昇による越冬の増加、病原菌の発生時期の長期化、さらには、発生地域の拡大などにより、被害が増大する恐れがある⁽⁷⁰⁾。

① 葉根菜類⁽⁷¹⁾ — キャベツ、レタス、ホウレンソウ、ダイコンなど

⁽⁶³⁾ 同上, pp.122-123.; 高橋幹ほか「大豆の生理機能に及ぼす影響の解明」農林水産技術会議事務局編 前掲書, pp.211-214.; 川方俊和・鮫島良次「大豆の生産力変動予測技術の開発」農林水産技術会議事務局編 前掲書, pp.287-291.

⁽⁶⁴⁾ 農林水産省 前掲書, pp.124-125.

⁽⁶⁵⁾ 井村治「害虫の発生変動の解明と予測」農林水産技術会議事務局編 前掲書, pp.160-165.

⁽⁶⁶⁾ 高橋繁男ほか「環境変化によるトウモロコシの生産量変化予測モデル」『日本草地学会誌』39巻(別), 1993, pp.47-48.

⁽⁶⁷⁾ 福山正隆ほか「二酸化炭素濃度倍増下におけるトウモロコシの生育」同上, pp.45-46.; 原沢・西岡秀三編 前掲書, p.149.

⁽⁶⁸⁾ 今田成雄「高温環境下における野菜の生理・生態反応」『農業および園芸』78巻8号, 2003.8, pp.16-21.

⁽⁶⁹⁾ 原沢・西岡編 前掲書, p.153.; 農林水産省 前掲書, pp.176-179.

⁽⁷⁰⁾ 農林水産省 前掲書, pp.159-160.

葉根菜類は、冷涼な気候を好むものが多く、20℃前後が生育に適した温度である。これ以上になると成長速度は鈍化し、生産性は低下する。キャベツ、レタスでは、30℃を超えると生育への影響や結球不良などの障害が発生する可能性がある。ホウレンソウは、25℃を超えると生育障害や病害虫の被害を受けやすくなる。また、気温が上昇すると、栽培可能な品種の幅が減少すると考えられる。二酸化炭素の増大は、生育の促進や糖度の上昇をもたらす。

葉根菜類は種類も多い上、周年栽培されているものも多く、また気温上昇のほか温暖化による地温の上昇とそれに伴う肥料効果の問題などがあり、温暖化の影響を一概には記述できないが、一般的には次のようにまとめられる。

葉根菜類は多くが路地で栽培されており、気候変動の影響を受けやすい。夏季の生産では生産性の低下、生育障害、病害虫の多発などにより、減収になると予測される。しかし、品種の選択や技術的対応により、生産性の低下はかなり防げると考えられる。また、高緯度、高標高が栽培好適地となって、生産地がそちらにシフトすることも考えられる。しかし、多くの産地は、風土や歴史的な様々な条件を経て現在の栽培技術体系を確立したのであり、栽培地域の変動を簡単に予測できるものではない。盛夏期における生産に障害が生じるようになった地域では、不安定だった春秋期の生産が容易になる可能性が高い。既存の生産地と新たに生産適地となった地域との間で産地間競争が生じ、生産地域の変動も考えられる。

寒候期栽培では、生産低下の要因は小さい。被覆資材費用や暖房費などのコスト削減が期

待できる。ここでも特に、これまで優位に立っていた温暖な西南暖地と、新たに広がる生産地との産地間競争が生じうる。ただこの場合も、既存生産地の優位性は残るので、寒候期栽培においては、生産地域の変動というよりも、生産地域の広域化が生じると予測される。

② 果菜類⁽⁷²⁾ —ナス科、ウリ科、イチゴなど

果菜類は、温暖な気候を好み低温に弱いものが多く、近年では温室やハウスなどの施設による生産が多い。夏季の高温の影響が大きいため、冷房などのための施設や資材の投資が必要となるが、冬季の温度上昇は燃料費の節約につながる。

i) ナス科—トマト、ナス、ピーマン等

ナス科の青枯病は、温暖化によって地温が高くなると病原菌の増殖が盛んになる。病原菌の発生時期が長くなり、発生地域が拡大して被害が増大する恐れがある⁽⁷³⁾。

トマトは、高温で着果、肥大が抑制されたり、落花を引き起こして着果数の減少が生じ得る。促成栽培では、発芽障害が生じる可能性がある。また糖蓄積が進まず、品質の低下が生じる可能性がある。ナス、ピーマンでは、夏季の高温、乾燥、強い日射しで、障害果の増大が予想される。

ii) ウリ科—キュウリ、メロン、カボチャ、スイカ等

キュウリは比較的高温を好むが、極端な高温は落蕾、開花不能、奇形果の発生、生育の衰えなどが生じる。露地栽培等では、栽培期間の拡大が考えられる。二酸化炭素濃度の高まりに対しては、収量が増加すると考えられている。ただ現在より高温、高湿下で作業する場合、栽培者への健康問題が生じる可能性がある。

メロンも高温性の作物なので、影響は少な

(71) 同上, pp.128-134.

(72) 同上, pp.128-134.

(73) 同上, p.159.

いと考えられる。夜の温度が高い場合は、ネット形成の不良や糖度低下などの品質低下が予想される。

カボチャやスイカは生育適温の幅が広いので、影響は少ないと考えられる。しかし、夏季のウイルス病の増大や、夏季の土壤多湿による品質低下の可能性がある。

iii) イチゴ

イチゴは冷涼な気候を好み、低温・短日条件下で花芽が形成される。その時期に高温になると、花芽が形成されないことが生じ得る。二酸化炭素濃度の高まりに対しては、キュウリ同様、収量が増加すると考えられている。栽培適地は、冷涼な地域に移動すると考えられる。

(果樹)

温度上昇に伴って、果樹の生育に、次のような影響が考えられる。①栽培適地の変化と栽培地の北進、②低温要求量の変化と時間的延長、③開花異常促進や成熟異常等の障害、④その他の温度障害⁽⁷⁴⁾。果樹は、数十年同じ樹で生産を続ける必要があり、気候に対する適応範囲が狭く地域性が高い。リンゴ、ナシ、モモ、ブドウ、カキなどの落葉果樹においては、春から秋までの生育期だけでなく、低温な冬の休眠期の気象条件も果実の生産量と品質に密接な関係を持っている⁽⁷⁵⁾。このように、果樹は、普通作物に比べて温暖化の影響を受けやすい。リンゴでは、収穫期に気温が高いと、着色不良となり、軟化して品質が低下しやすい。また、高温は、収穫果の貯蔵性を低下させて周年供給を難しくさせるし、収穫前落果や病虫害が多発

する原因になる。ウンシュウミカンでは、収穫期に、ある程度温度が下がらないと着色しない。九州の最南部や南西諸島でウンシュウミカンを栽培すると、着色が悪くなり、味ぼけ果、浮き皮果が多発する。また、収穫期に降水量が多いと、糖度が低下し、浮き皮が発生する⁽⁷⁶⁾。ブドウの着色は、温度によって左右され、高温地帯での着色は著しく不良である。暖かい年が増加するにつれて、ミカンや多くの落葉果樹では果肉先熟型となり、果皮はまだ未熟なのに果肉は十分に成熟していて、果皮の成熟着色まで待つと、果肉はすでに過熟で蜜化している、という現象が多く発生するようになる。ウンシュウミカンでは、ここ30年間で開花が約10日早まっている。ナシの「幸水」では、10年間に2.2～2.5日開花が早まっている⁽⁷⁷⁾。

普通作物では容易な作付け時期をずらすなどの対策も、果樹の特性を考えると難しい。2060年代には気温が3～4℃上昇するとしたシナリオでは、現在のウンシュウミカンの適地は、ほとんど温度が高すぎるため不適地になる。リンゴは西日本全域、山地域を除く東日本の全域が、やはり温度が高すぎて不適地になる⁽⁷⁸⁾。二酸化炭素濃度の上昇は、樹種によって異なるが、収量を増加させると考えられる⁽⁷⁹⁾。

沖縄や奄美諸島では、東南アジアに広く分布するミカンキジラミが飛来して、その媒介によって、根絶が困難で、柑橘類に壊滅的な被害を与える細菌病(カンキツグリーニング病)の発生が認められているが、温暖化によって、ミカンキジラミはさらに北上すると考えられる⁽⁸⁰⁾。リンゴでは、気温が上昇すると、秋から春にかけ

(74) 鴨田福也「果樹生産と気候変化・気候変動」『気象研究ノート』162号, 1988.7, pp.117-122.

(75) 冬の低温が不足するため、沖縄では落葉果樹はほとんど生産されていない。

(76) 杉浦俊彦「温暖化が果樹生産環境に及ぼす影響と求められる課題」『農林水産技術研究ジャーナル』24巻10号, 2001.10, pp.23-30.

(77) 内嶋 前掲書, pp.132-133.; 農林水産省 前掲書, pp.135-140.

(78) 内嶋 前掲書, pp.134-135.

(79) 鴨田 前掲注(74)

(80) 内嶋 前掲書, pp.135-136.

て土壌伝染性のリンゴ白紋羽病の活動が活発になり、樹を衰弱させ、枯死させる可能性が出てくる⁽⁸¹⁾。

果樹の害虫であるハダニは、気温の上昇によって年間の発生世代数も発生量も増大し、温暖化によって被害が増大すると予測される。カメムシは、成虫で越冬し、気温の上昇とともに行動を開始する。温暖化によって加害開始の時期が早まり、繁殖活動も早期化し繁殖シーズンも拡大する。カメムシは、スギやヒノキの球果の種子を主な餌とするが、高温乾燥した気象条件では球果の結実量が多くなる傾向があり、温度上昇により、カメムシの増殖率も増大すると予測される。カンキツ類に寄生するカイガラムシは、温暖化によって分布域の北上、発生時期の早まり、発生する世代数の増加などが生じ、被害が増大すると予測される。さらにコナカイガラムシ類は、果樹のウィルス病を伝搬するので、ウィルス汚染が拡大する問題も生じる⁽⁸²⁾。

(茶)

茶栽培においては、暖地、温暖地、冷涼地、山間冷涼地、高冷地、寒冷地帯という形で、品種選択や栽培技術が確立されている。温暖化は、これら栽培地帯区分のシフトと考えられるが、最大の懸念は、現在でも栽培技術が完成しているとは言い難い亜熱帯地帯が拡大することと、新規病害虫の侵入である。亜熱帯化するのに限られた地域であるが、南方島嶼地域や、九州臨海地域の一部では大問題となることも予想される⁽⁸³⁾。地域の気候条件が変わってくるため、それに応じて、品種や栽培方法を考慮しなおす必要がでてくる。気温上昇は、一番茶の生育、

収量および品質に影響を及ぼす可能性がある。温暖化によって生じやすくなる早魃や異常高温は、茶の生産に大きな影響を及ぼすと予測される⁽⁸⁴⁾。

温暖化により茶病害の発生時期が早まり、発生周期も長くなる上、発生も活発化する。また、越冬する病原菌も増加するなど、防除費用や防除の労力が増すことになる⁽⁸⁵⁾。

茶樹は亜熱帯性の樹木であるが、これまで海外からの侵入害虫の問題は、台湾産の茶害虫が沖縄に棲息していることを除いて、ほとんど生じていない。しかし、温暖化によって、沖縄にいる茶害虫が九州地域に広がる可能性がある。主要な茶害虫であるハマキガ類は、温暖化によって年間世代数の増加、発生早期化、越冬幼虫の死亡率の低下、発生の不斉一化が促進させられると考えられる。このため防除のための薬剤散布の適期が不明瞭となり、薬剤散布による防除はより困難になると予測される。カンザワハダニは、冬期にほとんどが休眠するが、温暖化によって、休眠率が低下すると考えられる。また、春秋の発育好適期間が延びることや、主要な天敵であるケナガカブリダニの活動には、カンザワハダニが増殖するより高い温度が必要なことから、春秋に多発するパターンが増加し、一番茶の防除対策が重要になってくると考えられる。茶樹の幹や枝に寄生し養分を吸うクワシロカイガラムシは、温暖化による世代数の変化はさほどみられないが、発生早期化が生じるため、防除適期が早期化すると考えられている⁽⁸⁶⁾。

(畜産)

畜産は比較的冷涼な西ヨーロッパで始まり、

(81) 農林水産省 前掲書, pp.161-164.

(82) 同上, pp.180-185.

(83) 水野直美「茶の精密栽培地帯区分図の作成と温暖化のシミュレーション」『茶業研究報告』93号, 2002.6, pp. 62-69.

(84) 農林水産省 前掲書, pp.141-143.

(85) 同上, pp.165-167.

(86) 同上, pp.186-188.

世界中に広がったと考えられる。家畜に好適な環境温度はほぼ20℃前後で、比較的低温域が好まれる。乳牛（ホルスタイン）では5～15℃が適温域で、これ以上になると体温維持活動が激しくなり、27℃以上になると体温が上昇し始め、乳量の低下と乳質変化が生じる。夏に屋外で飼われている家畜は強い日射と高い気温にさらされると、体重が増加する速度が低下することが報告されている。またブロイラー鶏では、33～34℃を超えると熱中症が多数発生することが知られている⁽⁸⁷⁾。

永年牧草地では、気温の上昇により、春と秋の生育期間は広がっていくが、夏の生育停滞が激しくなるため、収量は、北海道などを除いて減収となり、その度合いは日本の南部にいくほど大きくなると予測される。また、標高の高いところでは増収、低いところでは減収になると考えられる。飼料作物栽培においては、毎年植

えつけることから、気温上昇に適応した品種や栽培体系が取れるため、増収につながると考えられる⁽⁸⁸⁾。

IV 食料自給と食料安全保障の問題

日本の食料自給率は低下の一途をたどり、現在、供給熱量ベースで40%というようにきわめて低い状況である（表1）。主要先進国の中でこれほど低いところはない（表2）。日本の国民1人あたりの農用地面積が特に狭いこと（表3）、食生活の多様化・欧風化により食料の消費構造が大きく変わったこと等を考えると、自給率低下は必然的な結果であったともいえるが、これを再び高めるのは大変なことである⁽⁸⁹⁾。食料自給率が低いということは、食料を輸入に頼っているということであり⁽⁹⁰⁾、食料供給が海外の生産地の作柄変動や気候変動等に影響さ

表1 我が国の食料自給率

（単位：％）

		1965年度	1975	1985	1995	2000	2003
供給熱量総合食料自給率		73	54	53	43	40	40
穀物（食料+飼料用）自給率		62	40	31	30	28	27
主食用穀物自給率		80	69	69	64	60	60
品 目 別 自 給 率	米（2000年以降は主食用）	95	110	107	103	100	100
	小麦	28	4	14	7	11	14
	豆類	25	9	8	5	7	6
	野菜	100	99	95	85	82	82
	果実	90	84	77	49	44	44
	鶏卵	100	97	98	96	95	96
	牛乳・乳製品	86	81	85	72	68	69
	肉類（鯨肉を除く）	90	77	81	57	52	54
魚介類		100	99	93	57	53	50

2003年度は概算値

（出典）『食料需給表 平成15年度』農林水産省，pp.244-246.

表2 各国の食料自給率

（単位：％）

	日本	アメリカ	カナダ	フランス	ドイツ	イギリス	オーストラリア
1970年	60	112	109	104	68	46	206
2002年	40	119	120	130	91	74	230

自給率は供給熱量自給率

（出典）『食料需給表 平成15年度』農林水産省，p.252.

⁽⁸⁷⁾ 内嶋 前掲書，pp.139-140.

⁽⁸⁸⁾ 須山哲男「草地・畜産と気候変化」『気象研究ノート』162号，1988.7，pp.123-129.

表3 国民1人当たり農用地面積(2000年)

(単位: ha/人)

	日本	アジア	ヨーロッパ	北アメリカ	南アメリカ	オセアニア	アフリカ
農用地	0.04	0.45	0.67	1.57	1.79	15.55	1.39
うち耕地	0.04	0.15	0.42	0.72	0.34	1.82	0.26

(出典) 荏開津 前掲書, p. 5.

れやすく、我が国の食料安全保障⁽⁹¹⁾は、脆弱であるといえよう⁽⁹²⁾。

国内穀物生産の90%以上はコメで、自給可能であるが、その他の穀物やダイズは、ほとんど輸入に頼っている。イネは、夏季の低温や日照不足などの気候変動にたいして脆弱で、温暖化の影響を受けやすい。世界の稲作地帯も、干害を受けやすい天水田や陸稲が全栽培面積の3分の1をしめ、また気候変動に対して脆弱な地域が多く含まれている。アジアの穀倉地帯は大河川のデルタ地帯にあり、温暖化の海面上昇によって、水没や海水の進入などの影響を受けて、収量が減産する可能性がある。さらに、コメは貿易量が少ないため(生産量の約4%)、不作が生じて輸入量が増えると、世界市場での価格が高騰する可能性が高く、特にアジア地域へ大きな打撃を与えかねない⁽⁹³⁾。コメ以外では、海外の生産地、特に、アメリカ、カナダ、オーストラリア、ブラジルなどの大生産地の温暖化の影響が問題になってくる。

穀物生産に関しては、気候温暖化は中・高緯度ではプラスに、低緯度ではマイナスに作用し、世界全体では収量が減少すると考えられている⁽⁹⁴⁾。気温が上昇するので中・高緯度ではプラスと表

現するが、それは栽培可能地域であって、栽培に必要な条件である気温のほか、水、土の肥沃度まで考えた栽培適地とは必ずしもいえない。例えば、北米での小麦栽培可能地域は温暖化によって北上するが、土壌肥沃度の低い地域、例えば北方の針葉樹林帯に移動する結果、栽培適地が大幅に減少すると予測されている⁽⁹⁵⁾。

マイナスの原因としては、①低・中緯度帯での作物の生育期間、特に登熟期間の短縮、②蒸発散量と降水不安定性の増加による土壌水分の低下、そして旱魃の多発、③花芽の形成に必要な冬の寒さの不足、等があげられる⁽⁹⁶⁾。

また、C4型の草が分布している北アメリカ、中央アジア、サヘル地区⁽⁹⁷⁾などの広大な亜熱帯草原においては、高い二酸化炭素濃度の条件化ではC4型の草の優位性が失われるため、家畜飼養能力が低下すると考えられる⁽⁹⁸⁾。

我が国では、イネについては研究が進んでいるし、また、野菜・果物については施設園芸が進んでいるため、悪影響はかなり回避できるものと考えられる。ただし、病虫害の発生や異常気象は供給の減少要因となりかねない。畜産物については、飼料を相当程度海外に依存していることや、夏場の高温等が畜産に与える影響

89) 平成12年の「食料・農業・農村基本計画」では、平成22年度までに45%にする目標を立てたが、きわめて厳しい状況であり、平成17年の「食料・農業・農村基本計画」では、平成27年度の目標をやはり45%としている。

90) 日本の耕地の2倍以上の耕地を海外で利用していることになる(原沢・西岡編 前掲書, p.167.)。

91) 必要な時に、必要な量の安全で栄養のある食料を入手できる状態を確保すること。

92) 原沢・西岡編 前掲書, p.167.

93) 同上, pp.142-143,168.

94) 内嶋 前掲書, p.137.

95) 岡本勝男「地球温暖化が農業地図を塗り替える」『エコノミスト』83巻40号, 2005.7.19, pp.90-93.

96) 内嶋 前掲書, p.138.

97) アフリカのサハラ砂漠の南縁。降水量が減少して砂漠化の問題が深刻となっている。

98) 内嶋 前掲書, p.141.

などが問題になる。

先進国では、新品種の導入、農法の改善、施設や灌漑網の整備などを通して温暖化による減収を相当に克服できるが、技術と資本の貧弱な発展途上国においては、気温や降水量等の変動によって生じる様々な影響を十分に克服できず、事態は悪化すると考えられる⁽⁹⁹⁾。

食料供給については、我が国の農産物価格が高いことから、自給できなくても世界中から安い食料を輸入し、また、輸入相手国を増やして緊急時の危険分散をはかっておけば良いとも考えられる。しかし、食料の安全保障、地球全体の環境や資源への配慮、さらには現在でも地球人口に対して食料は十分とはいえず、今後さらに人口が増加することが予測される⁽¹⁰⁰⁾。十分な食料の得られない栄養不良人口が、世界中で約8億人、そのうち5億人以上はアジア地域にいと推計されている⁽¹⁰¹⁾。こうしたことを考え合わせると、我が国の食料自給率を、ある程度高める必要があるといえよう。

栄養不良人口の問題だけでなく、巨大な人口を抱え経済成長を高めている中国、インドをはじめとしたアジア諸国の問題もある⁽¹⁰²⁾。これらの国々では、工業化が進み農業の比率が低下し、一部の食料の供給をアメリカなどの他地域に依存するようになってきている。このような大きな人口を抱える国で、食料不安が生じた場

合、食料取引をめぐって世界の市場での競争が激しくなり、我が国への影響も懸念される。農産物は、工業製品と比べ、不足だからといってすぐ増やすことはできないし、水田のように農地そのものが転換されてしまったら、再び農地とするためには相当の時間を必要とする。

地球の平均気温が2.5℃程度上昇すると、食料の需要に供給が追いつかないと予測されている⁽¹⁰³⁾。この温度上昇を示す数値は、とてつもなく大きな数字というわけでない。気象庁が平成18(2006)年2月に発表した2005年の世界の平均気温は、平年比0.32℃のプラス(日本では0.18℃のプラス)であった。1998年にも世界平均で0.37℃プラスであったことをみても、問題がないと放置できるような数値でないことがわかるであろう⁽¹⁰⁴⁾。さらに、温暖化が進むと大きな気候変動をもたらす可能性が大きくなると言われている。2006年1月のアメリカの平均気温は、1895-2005年の平均気温より4.7℃高かったと報道されている⁽¹⁰⁵⁾。

気温上昇や大きな気候変動によって、世界的な不作が生じ、それが長期化、常態化した場合、各国による食料の奪い合いということになり、価格も高騰し、日本経済への影響も大きいと考えられる。経済力にまかせて国内の食料需要を満たすために、必要なだけの食料を国際市場から調達するという事は、許されなくなるであ

(99) 同上, p.138.

(100) 日本の総人口は、2005年に減少に向かったが、アメリカ商務省センサス局の「世界人口時計」によると、2006年2月25日には世界の総人口が65億人に達し、20年後の2026年には79億人、40年後の2046年には90億人に達するとの見通しである(「65億人 世界人口あす大台に 米商務省推計」『日本経済新聞』2006.2.25, 夕刊)。

(101) 2000-2002年に世界で8億5200万人が栄養不足状態で、うち8億1500万人は開発途上国に分布していると推計されている(国際連合食糧農業機関編(国際食糧農業協会訳)『世界の飢餓人口半減に向かって(世界の食料不安の現状;2004年報告)』国際食糧農業協会, 2005.)。

(102) 2005年の推計で中国13億2280万人、インド11億340万人で、世界の総人口の半分をアジアが占めている(『日本経済新聞』前掲注(100))。

(103) 環境庁HP, 前掲注(5)

(104) 1998年と2005年の上昇幅は、統計を取り始めた1981年以降1番目、2番目に高いということも注目すべきであろう(「気象庁報道発表資料」平成18(2006)年2月2日)。

(105) 「米1月平均気温観測史上で最高」『日本経済新聞』2006.2.8, 夕刊。

ろう。少なくとも、農産物輸入先の分散、農業援助や農業協力、開発輸入など多様な対応の手段を確保しておく必要はあろう。

おわりに

温暖化が認識されにくいのは、温室効果ガスが少しずつ蓄積されて徐々に影響が出てくることや、気候変動には「自然のゆらぎ」があることなどがあげられる。また、現象が観測されたといわれても、ほとんど自分と関係のないところで生じていて実感としてとらえられないということもあげられる。北極の氷が溶けているとか、氷河が溶けて後退しているといわれても、日々の生活実感からは遠く離れたことであり、自分と関係ないことのようにしか思えないのではないだろうか。平成18(2006)年2月に、NHKは、温暖化の特集として地球規模の大きな気候や大地の変動を放映した⁽¹⁰⁶⁾。しかしシミュレーションによる2050年や2100年という年は、見ている人にとっては、自分とは関係ない遠い先の話で、実感をもって受け止められないのではないだろうか。温暖化対策には、このような個人の認識面の問題⁽¹⁰⁷⁾のほかに、二酸化炭素削減のためには経済全般にかなり大きな影響が生じるという難しさがある。

温暖化対策については、京都議定書に則った可能な限りの削減努力が求められるだろう。それと並行して京都議定書以降、すなわち2013年以降の枠組みを早急に組み立てる必要もあろう。国際的に利害の対立する問題では、枠組みを作り、対策に向かってスタートするところにたど

り着くまでに、大変な作業と膨大な時間を要することは周知の事実である。そういう意味でも、2013年までの時間はいくらか残されていない。

もう一つは、本稿で述べてきたような対策の問題である。完璧な温暖化対策が採れ、以前の水準まで戻せるなら、このような対策は必要ないであろう。しかし、温暖化対策が採られたとしても、まちがいなくある程度の温暖化は進展するであろう。そのような状況に備えて研究をさらに進めていく必要がある。それは、我が国の食料自給率が低いことや、温暖化すると地域の農業構造も変わらざるを得なくなり、それに対応していくためには、相当の時間を必要とすることになるためである。その土地での、新しい品種の定着や、それに対する個々の農業者の技術習得、そのための農業基盤の整備というように、やらなければならないことは多い。しかも自然が相手であるため時間がかかる作業である。これについては「Ⅱ 温暖化と農業」の章で、農業生産量を規定する3つの条件で示したとおりであり、早急に取り組む必要があろう。先ほど述べたNHKの放送では、2100年には、リンゴの適地である青森県が、ミカンの栽培地になるとのシナリオが紹介されていた。しかしリンゴ栽培農家からミカン栽培農家になるということは、簡単なことではないし、栽培可能地域が必ずしも栽培適地ではないのである。

農業生産物というものは、生活していくうえで欠かすことのできない食料であるということ十分に認識する必要がある。危機対応は常日頃から用意しておかないと、いざという時には機能しないものなのである。

(おおやま ひでひさ 議会官庁資料調査室)

(106) NHK スペシャル：「気候大異変」①温暖化した未来，2006.2.18；②環境崩壊の危機，2006.2.19.

(107) 「ところが厄介なのは、徹底して実物指示として書かれながらも、「その場」で真偽を判定できないために限りなくフィクションに近いものとして受け止められる文章の場合だ。……(中略)……エコロジカルな思想は「地球」全体を相手どらざるをえないために、フィクションに似てしまう。」(管啓次郎「珊瑚礁とフィクション」『図書』682号，2006.2，p.1.)