

気候変動に対応した農林水産研究の取り組み

(独) 農業環境技術研究所

八木 一行

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は世界中の専門家の科学的知見を集約した報告書を定期的に発表しているが、2007年に公表した「第4次評価報告書（AR4）」では、地球の温暖化が加速度的に進んでいる実態を明らかにするとともに、それが自然要因だけでは説明がつかず、人間活動による化石燃料の使用や土地利用の変化が主因であることを断定的に結論している（IPCC, 2007）。現在の経済成長が続けば、人間活動による温室効果ガス排出は今後も増加を続け、今世紀末には、平均気温は4.0℃（2.4～6.4℃）上昇し、気候の不安定さが大きくなることが予想されている。IPCCは、さらに、2012年に「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書（SREX）」を公表し、気候変動は単に気温を上昇させるだけではなく、猛暑や熱波、強い降雨や強大な台風、長期的な干ばつなどの極端現象の発生頻度、強度、空間的広がり、持続期間やタイミングに変化をもたらし、前例のない極端現象を発生させる可能性のあることを指摘している（IPCC, 2012）。

このように気候変動に関する科学的知見が集積され、その危機が叫ばれるなか、その対策として、温暖化がもたらす様々な影響（水資源、食糧、生物多様性、極端現象等）に対して人や社会、経済のシステムを調節することで影響を軽減しようという「適応策」と、あらゆる排出セクターにおいて、温室効果ガスの排出削減策や吸収源の増加方策を実行することで地球温暖化を抑制する「緩和策」とが求められている。実際、IPCCでは、気候システムと気候変化についての自然科学的根拠（AR4では第一作業部会報告書）を示すと同時に、温暖化が生態系と人間社会に及ぼす影響を評価し、その適応策を検討する第二作業部会報告書（影響・適応・脆弱性）、および温室効果ガスの排出量を削減するための方策とその効果や可能性について論じた第三作業部会報告書（気候変動の緩和策）をあわせて発表している。

農林水産業は、生態系の物質とエネルギーの流れを最大限に利用し、我々の文明に必要な食料と資材を獲得するための根本的な営みであることから、気候変動に伴う生態系の変動にはもともと影響を受けやすい産業である。実際、すでに我が国の農林水産業にも、温度上昇による樹木、作物、家畜などの生育阻害や水産生物の生息域の移動、病害虫の北上や蔓延、強力な台風などによる気象災害の激化および降水量変動など、気候変動のマイナスの影響が現れはじめている。一方、作業機械、漁船、冷凍・冷蔵庫などのエネルギー消費や土地利用変化に伴う二酸化炭素（CO₂）排出、および農地や畜産からのメタン（CH₄）と一酸化二窒素（N₂O：亜酸化窒素とも呼ばれる）の排出など、農林水産業は温室効果ガス排出源としての側面も持ち合わせている。ただし、森林や農地、藻場や海洋は植物性プランクトンを含む植物の光合成作用により大気CO₂の吸収源にもなり、温暖化を緩和する機能も有している。

そこで、農地・森林・漁場を含めた陸域・海洋における生態系の変動が農林水産業に及

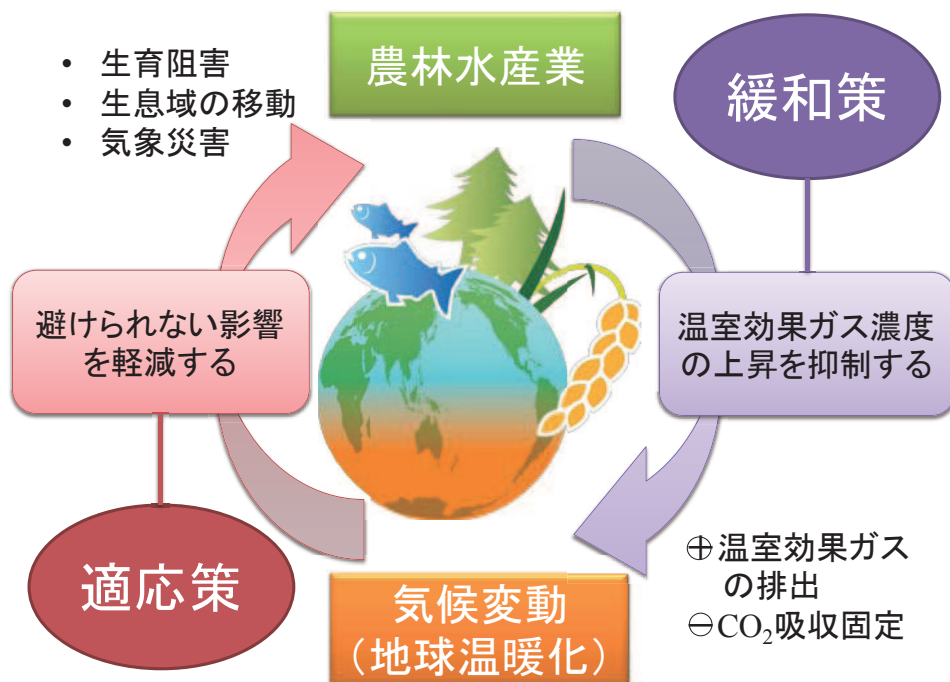


図 1 気候変動に対応するための農林水産業における適応策と緩和策の関係

ばす影響を理解し、その将来予測から今後の気候変動に対応した持続可能な農林水産業の達成を可能とするために、避けられない影響を軽減する適応策を検討することが必要である。同時に、農林水産業が大気中の温室効果ガス濃度の上昇を抑制する気候変動の緩和策にどのように貢献できるかを明らかにすることが求められている（図 1）。

2. 温暖化が農林水産業に及ぼす影響とその適応策

1) IPCC AR4 での影響評価

IPCC AR4 では、気温の上昇量とそれに伴う主要な影響を、図 2 のようにまとめている。ここでは、各文章がはじまる左端の位置が、その影響が出はじめる気温上昇量であることを示している。例えば、食料に関する予測結果を見ると、小規模農家、自給農業者、漁業者への複合的で局所的な負の影響は、たとえ 0 ～ 1℃ 程度の気温上昇であっても、温暖化の悪影響が出はじめることを示している。そして、世界全体では、中～高緯度地域において、作物生産性は地域の平均気温の 1～3℃ までの上昇に対してはわずかに増加するが、その後それを超えると、地域によっては減少に転じると予測される。一方、より低緯度にある地域、特に乾季のある地域や熱帯地域では、作物生産性は、地域の平均気温の小幅な上昇（1～2℃）でさえも減少し、発展途上国の多いこの地域で飢餓リスクを高めると予測される。その他、農林水産業に関係する水資源、生態系、沿岸域環境においても、気温上昇とともに、深刻な影響の増大することが懸念される。

2) 我が国の農林水産業においてすでに生じている影響

農業生産現場において、高温障害による品質低下など様々な影響が報告されている（農林水産省，2011）。その一例として、コメでは、夏の高温により、粒の内部が白く濁る白

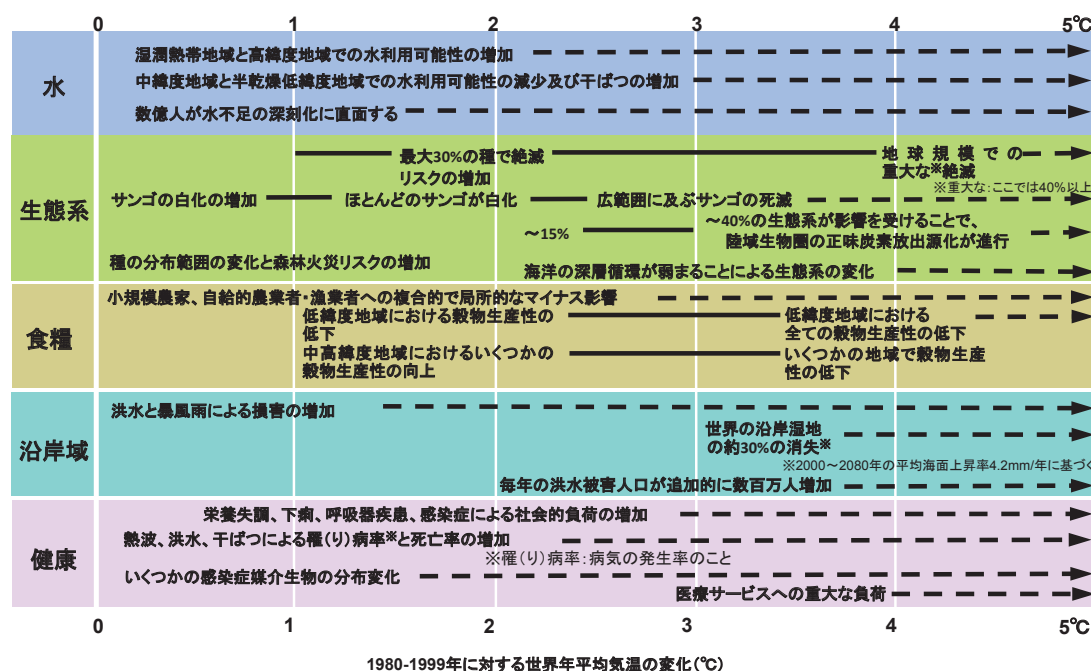


図2 気温の上昇に対応した影響の事例。IPCC AR4 より

未熟粒や胴割粒などの品質低下が報告されている。これらの品質低下は、登熟期（夏に穂が出て籾もみの中にコメができた後に、コメにデンプンが蓄積する時期）の高温により発生が増加する。トマトなど果菜類では、夏の高温により花粉の機能に障害がでることなどから、花落ち等花のつく割合、実のつく割合が低下する着花・着果不良などが報告されている。うんしゅうみかんでは、秋から冬にかけて高温・多雨で推移することで、果皮と果肉が分離する浮皮の発生が報告されている。浮皮の果実には、貯蔵・輸送中の腐敗、食味の低下などのリスクがある。ぶどうでは、全国で夏から秋にかけての成熟期が高温で推移することで、果実の着色不良が報告されている。これは、果実の色素であるアントシアニンの合成が抑制されることで発生する。

森林については、樹木の寿命が長いことから気候変動の影響を検出することは容易でないが、日本を代表する自然林であるブナ林が、将来の温暖化で他の樹種に置き換わりその面積の大きく減少する可能性がモデル予測により示された。また、温暖化にともなって台風の大型化が進むと、風害による災害リスクが高まり、森林の吸収源機能の損失が懸念されている（石塚，2009）。

海洋においても、漁業生産上も重要な場である藻場において、1990年前後の高温化と同期した磯焼けの進行が顕著になったほか、日本近海の高水温化に対応する現象として、九州、四国沿岸域において南方系のホンダワラ類の分布が拡大してきている。また、日本周辺海域における低次生態系のモニタリング調査から、亜寒帯海域における表層塩分濃度が低下し動物プランクトンの量に影響していること、春季の成層の進み方が早まり植物プランクトンの春季ブルームの開始時期も早まる傾向にあることなどが明らかになっている（渡邊，2009）。

3) 我が国の農林水産業における適応策

農林水産業の現場では、作物・森林・漁場別の気候変動による影響や被害状況の把握とともに、これまでの研究成果を現場に普及し、被害を最小限にするための適応策が進められつつある。詳細な成果は、後述の各分野からの最新の報告に示されるが、すでに進められている対策も数多くある。

コメの高温障害に対しては、「にこまる」など高温耐性品種への転換や登熟期の高温遭遇を回避する作期の遅い品種への転換などで発生回避に努めている。また、田植え後の回避技術としては、生育診断に基づく肥培管理の徹底、水管理、堆肥施用や深耕等土づくりなどの栽培技術を組み合わせた発生回避が進められている。果樹や野菜では、高温と強い日差しによる着色不良を防止するための袋掛け（遮光）対策や高温耐性品種の導入、施設内の気温や地温、葉温の上昇抑制が行われている。畜産においても、畜舎内への換気扇の増設、通気の改善、牛の体に送風扇で細かい霧を吹きかける等の対策が行われ、繁殖面での悪影響や、乳量・乳質の低下を防ぐ適応策が講じられている。

森林については、今後の気象変化や世界の状況等を踏まえて、我が国の森林における温暖化の影響に関する情報収集を行い、定量的な影響評価を実施している。また、マツノマダラカミキリなどの病害虫等が気温上昇によって活動域を広げることに對し、徹底的な防除や樹種転換等の各種被害対策が推進されている。

水産においても、日本のノリ養殖業の主要種であるスサビノリや、マツカワ、ニシン、サケなどの養殖・栽培対象魚種の高温耐性メカニズムの解明を進め、高温環境への耐性の強い種を選択、また開発することへの取組もはじまっている。

3. 農林水産業からの温室効果ガス排出とその緩和策

1) 農林水産業からの温室効果ガス排出量

現在の地球温暖化をもたらしている要因のひとつとして、農業生産活動の拡大が挙げられている。IPCC AR4 によれば、全球における農業分野からの温室効果ガス排出量は二酸化炭素（CO₂）換算量で年間 51-61 億トンと見積もられており、人為起源の 13.5%を占めている（IPCC, 2007, 図3）。このうち、最大の温室効果ガスである CO₂ については、農地における発生

と吸収の収支は全球でほぼバランスしていると考えられている。しかし、CO₂ 以外の温室効果ガス、すなわち CH₄ と N₂O について、農業生態系は、それぞれ、人為起源発生量の半分以上を占めており、重要な排出源となっている。これらに加えて、人為起源の 17.4%を占めると算定されている森林からの温室効果ガス排出（58 億トン）は、主として、森林か

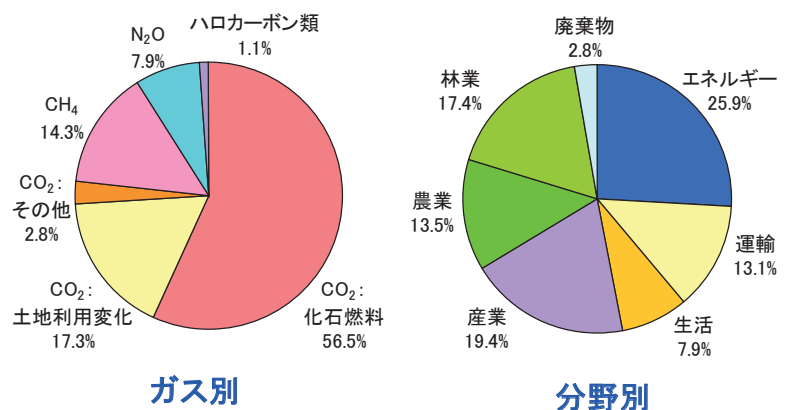


図3 2004 年における人為的な温室効果ガス発生量の内訳。(左) ガス別；(右) 分野別。
IPCC AR4 より作図。

ら農地への土地利用変化を原因とするものであることから、農業の影響は森林分野にも及んでいると言える。これらを合計すると、農林業の関与する温室効果ガス排出量は全人為排出量の約 1/3 を占めることになり、地球温暖化に対する影響はきわめて大きいと言える。なお、この IPCC における分野の分け方において、農林水産業における作業機械、漁船、冷凍・冷蔵庫などのエネルギー消費に伴う CO₂ 排出は他の分野に計上されている。

我が国の農林水産業分野からの温室効果ガス排出量は、2010 年度において、CO₂ 換算値で 3,630 万トンと算定されている（温室効果ガスインベントリオフィス，2012）。これは、我が国の総排出量の約 3%を占める。このうち、農林業および水産業におけるエネルギー消費に伴う CO₂ 排出量は、それぞれ、526 および 553 万トンで、合計の CO₂ 排出量は農林水産業分野からの全排出量の 30%に相当する。他の主要な排出源としては、家畜消化管内発酵による CH₄（CO₂ 換算値で 667 万トン：以下同）、農地土壌からの N₂O（562）、家畜排せつ物管理に伴う N₂O（548）、稲作に伴う CH₄（545）、家畜排せつ物管理に伴う CH₄（221）が続く。

2）農林水産業における二酸化炭素吸収

植物は光合成により大気中の CO₂ を吸収し、その炭素を有機物として根や幹、枝などに貯留する。中でも森林を形成する樹木は、大気中の CO₂ を大量に吸収し成長する。さらに、落葉や枯死した樹木はリターあるいは土壌炭素として森林生態系のなかで一定期間保持される。一方、植物の呼吸とリターや土壌有機物の分解、あるいは燃焼により、森林生態系は大気へ CO₂ を排出する。多くの成長段階にある森林では、CO₂ 吸収量はその排出量を上回り、温暖化を促進させる大気中の CO₂ を吸収固定する役割を果たしている。したがって、森林を適切に管理して森林が吸収する炭素量を増やすことにより、大気中の CO₂ 濃度の上昇を緩和することが可能である。

京都議定書では、森林による CO₂ 吸収量を温室効果ガスの削減量に算入することを認めている。ただし、森林すべてを吸収源としてカウントできるわけではなく、1990 年以降に、新たに植林されたり、間伐など適切な森林経営がなされていたりすることなどが条件となっている。このため、我が国では、京都議定書のルールに対応した森林の吸収量の算定方法と、算定のための国家

森林資源データベースの開発をおこなってきた（松本ら，2007）。この成果をもとに、2007 年より政府は京都議定書に対応した森林吸収量を、気候変動枠組条約事務局に毎年報告している。京都議定書第 1 約束期間（2008～12）においては、我が国の温室効果ガス削減目標 6% に対して

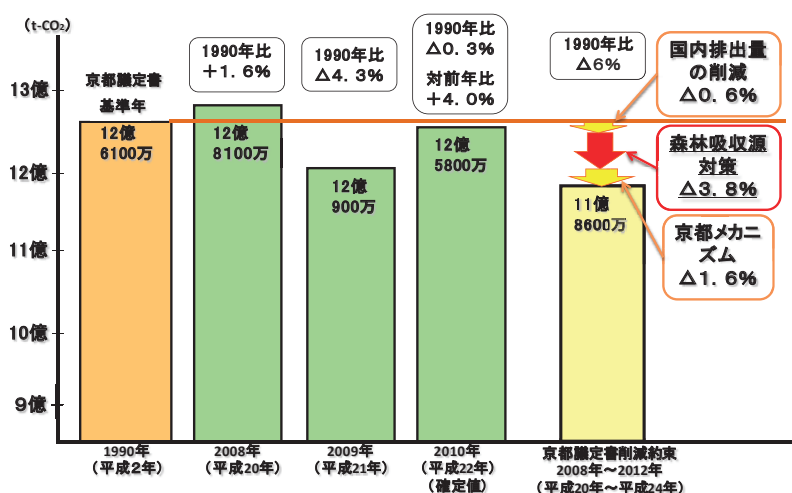


図 4 我が国の温室効果ガス排出量と京都議定書第一約束期間の削減目標。

3.8% (1,300 万炭素トンに相当) まで、森林による吸収量を加えることが認められている。この数値は、国際交渉の結果、認められたものであるが、我が国の削減目標達成への森林吸収源の貢献は極めて大きいものである。

農地も森林と同様、管理を工夫することにより土壌に炭素を蓄積する、すなわち、農地を大気 CO₂ の吸収源とすることが可能である。その方法としては、農地に作物残渣や堆きゅう肥などの有機物を投入することや、不耕起、省耕起により土壌有機物の分解を抑制することが考えられる。全国各地の農業試験研究機関で行われた長期連用試験から、化学肥料のみを連用した場合に比べ、稲わらや堆肥を投入することによる土壌炭素量の増加が示されている (白戸, 2005)。さらに、現在、農林水産省の事業として、全国の約 3,500 地点で農地土壌炭素のモニタリングが継続されている。これらのモニタリングデータと土壌炭素動態モデルを用いて、わが国農地土壌の炭素吸収量の評価が進められている。

海洋では、植物プランクトンの増殖を制御する鉄の投入によって、CO₂ 吸収能力を増加させることができるとみられ、大気中の CO₂ 抑制策のひとつとして注目されている。しかし、植物プランクトンに取りこまれた炭素はどこにいくのか、栄養塩のバランスを崩して全体としては植物プランクトンの生産性を下げるのではないかなど検討する余地も多く残っている。そのため、鉄の散布が生態系へ及ぼす影響について、今後正確な科学的知見を得ることが課題となっている (気象庁, 2009)。

3) 農林水産業における温暖化緩和策

農林水産業における温暖化緩和策の詳細については、後述の各分野からの最新の報告に示されるが、我が国の森林吸収源の貢献でも示されるように、大きな緩和ポテンシャルを持つ方策がいくつも提案されている。

IPCC AR4 には、農業と林業分野における温室効果ガス排出削減策は、エネルギー、運輸など非農林業分野のものとコスト的に競合出来ることが明示されている (IPCC, 2007)。また、その利点として、長期間の効果が期待出来、全体として大きな貢献が可能であることが挙げられている。同時に、農業分野における温室効果ガス排出削減策については、世界共通のものはなく、それぞれの方法を個々の農業システムや状況において検討する必要があることも指摘されている。これは、我が国についても当てはまり、今後、地球温暖化緩和に貢献するため、各地域の自然環境や経営状況に応じて、適切な排出削減策を構築することが求められる。

水産業においては、主要な CO₂ 排出源である漁船について、省エネルギー型漁船等の開発・実用化・普及の一体的な促進が図られている。また、漁場から主要消費地までの総排出量を最小化する漁港選択と漁船誘導技術の開発により、漁船の移動・操業時における CO₂ 排出量を削減する研究が進められ、各港湾の処理能力や消費地への輸送能力を向上させる事により、漁船が常に漁場から最短距離の港へ水揚げできるようになり、漁船への設備投資なしにサンマ漁業からの CO₂ 排出量を削減できる事を提言した (小埜, 2012)。

4. 農林水産省プロジェクト研究

このような状況のもとで、農林水産省では地球温暖化の農林水産業への影響のモニタリング、将来的な影響予測、モデルによる炭素循環の把握、温暖化影響の適応策および温室

効果ガス排出削減対策の開発のために、プロジェクト研究「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術」（温暖化プロ）を 2006 年度（平成 18 年度）から開始し、2009 年度（平成 21 年度）に終了した（農林水産技術会議事務局，2011）。2010 年度（平成 22 年度）からは、さらに我が国の温暖化ガス排出量削減目標の達成に向けた農林水産分野における温室効果ガスの排出量削減、吸収源機能の向上、および地球温暖化の進行に適応した農林水産物の収量・品質等の安定化に向けてプロジェクトの拡充を行い、現在は気候変動対策プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」として取り組んでいる。本プロジェクトにおいては、気候変動に対応した適応策、緩和策の開発だけでなく、同時に、環境負荷を最小化する低投入循環型の農業・食料生産方式のための技術開発、ゲノム情報を活用した温暖化適応品種の開発、およびコペンハーゲン合意に基づく REDD（途上国の森林減少・劣化に由来する排出削減）の実行ある実施のための熱帯林における森林バイオマスのモニタリング及び変動予測技術の開発をも目指している。本年度（平成 24 年度）の分野構成は以下の通りである。

- （第 1 分野）A. 農林水産分野における温暖化緩和技術及び適応技術の開発
- （第 2 分野）B. 低投入・循環型食料生産の実現に向けた技術開発
- （第 3 分野）C. ゲノム情報を活用した気候変動適応品種の開発
- （第 4 分野）D. アジア地域熱帯林の森林減少・劣化対策支援システムの開発
- （第 5 分野）E. 新世代林業種苗を短期間で作出する技術の開発
- （第 6 分野）F. 土着天敵を有効活用した害虫防除システムの開発

本プロジェクト研究は、農林水産省農林水産技術会議事務局が委託元となり、（独）農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）、（独）農業環境技術研究所（独）、森林総合研究所、（独）水産総合研究センターをはじめとし、他の独立行政法人研究機関、公立試験研究機関、大学、民間などが課題毎に研究コンソーシアムを組織することにより受託し、各課題について取り組んでいる。

引用文献

IPCC (2007) IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007, Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>

IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>

農林水産省（2011）平成 22 年度高温適応技術レポート

石塚森吉（2009）林業における影響予測と温暖化防止技術，成果発表会「地球温暖化と農林水産業－環境・食卓の現在と未来－」資料，<http://gpro.dc.affrc.go.jp/seikagaiyo.html>

渡邊朝生（2009）水産業における温暖化影響予測と適応技術，成果発表会「地球温暖化と農林水産業－環境・食卓の現在と未来－」資料，<http://gpro.dc.affrc.go.jp/seikagaiyo.html>

温室効果ガスインベントリオフィス（2012）

<http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>

松本光朗ら（2007）京都議定書報告のための国家森林資源データベースの開発，森林資源

管理と数理モデル 6 : 141-163.

白戸康人 (2005) 農耕地における土壌有機物動態のモデリング, 波多野隆介・犬伏和之 編
「続・環境負荷を予測する」, p243-262, 博友社.

気象庁 (2009) 地球環境・気候, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/index.html>

農林水産技術会議事務局 (2011) 地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適
応技術の開発, <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039014665>