7.2

食料生産・消費構造のグローバル化

環境問題とは，突き詰めれば人口問題の側面が強い．特に 20 世紀中盤以降に顕著となったあらゆる環境問題の背景には，この間に生じた人口爆発が存在する (2.3 節)．またこの人口爆発は，同じ時期に起きた農業従事者の人口比の一貫した低下と相まって，都市化という 20 世紀を特徴づける一大潮流を生じさせている．本節では，これら人口爆発や都市化の直接的な要因である，食料の生産と消費構造の空間的・量的拡大について，その過程と影響について概説し，さらに今後の見通しについて考察する．

ところで，本書が提言する基礎環境学とは，個々の臨床現場におけるさまざまな環境問題を，より一般性が高く，かつ総合的な枠組みで捉え直すものである．そのためには，それら環境問題を，従来の学問分野の枠にとらわれず，それが発生した直接要因から，その社会的背景まで，立体的に捉えることが肝要である．そこで，そのような私たちのチャレンジとして，本節では農学・経済学・生態学・気候学といった諸分野からの視点を有機的に統合することにより，この主題の全体像を明らかにすることを試みた．

7.2.1 「緑の革命」による近代農業の普及

20 世紀前半までの世界とは，人口の大半が食料生産に携わり，そうであっても少し天候の悪い日が続いただけで栄養不良や飢餓が発生してしまうという不安定なものであった．近世においても，1840 年代のジャガイモ飢饉ではアイルランドの人口が半減し，19 世紀末のインドではモンスーン気候の不順により数千万人が死亡している（フェイガン 2008）．また日本でも，1930 年から 1934 年にかけて，東北地方の冷害による米不足が昭和東北大飢饉を発生させている．この

ような状況は，20 世紀後半に世界各所で生じた食物生産量の急増，および余剰食糧のグローバル市場における商品化によって，多くの地域で根底から覆った．

世界三大穀物の年間生産量（単位百万トン）は，1961 年から 2010 年までの 50 年間で，小麦で 222 から 654，米で 216 から 696，トウモロコシで 205 から 840 と，それぞれが大幅な増加を示している（FAO 2012）．この期間の世界人口は，約 31 億人から約 69 億人へと倍増したが，それでも，1 人あたりが消費できる三大穀物の量は，単純な頭割り計算で 5 割以上も増加している（図 7.2.1a）．

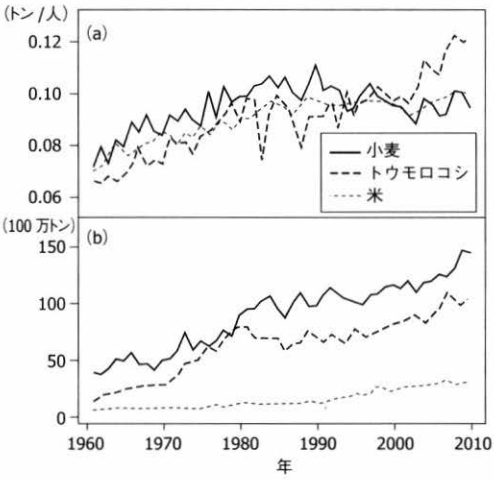

図 7.2.1 (a) 世界の人口あたり穀物生産量の推移．(b) 三大穀物の世界市場の輸出量推移（FAO 統計資料，国連経済社会局人口部（2010）*World Population Prospects : The 2010 Revision*）

世界の食料生産量が，このように急増した理由は，化学肥料・高収量の改良品種・農業機械を組み合わせた資本集約的な近代農業が世界に普及したことにある．実際に，世界で使用される化学肥料の総使用量は，1961 年から 2002 年の間に，約 3351 万トンから約 1 億 4686 万トンと約 4.4 倍も増加している（FAO 2012）．また，世界のトラクター台数は，1948–52 年には 600 万台であったものが，2002 年には 2700 万台にまで増加し，さらにトラクター 1 台の平均馬力も，1950 年代の 24 馬力から 2000 年の 240 馬力にまで増大している（Millstone・Lang 2009）．

このような**資本集約的農業**，すなわち人的労働力の代わりに化学肥料や機械といった資本財に大きく依拠する農業は，20 世紀後半に先進国から第三世界へ普及したが，それによる一連の社会的・経済的な変化は「**緑の革命**」と呼ばれ，これは 19 世紀中旬の産業革命に引き続く，人類史にとっての大きな革命であった．緑の革命の立役者の 1 つは，前節で見たように化学肥料の大量使用である．化学肥料を主に構成するのは，窒素・リン酸・カリウムという植物の生長に不可欠で，なおかつ量が不足しがちな元素である．

緑の革命のもう1つの立役者は，高収量を可能とする改良品種の作成と配布であり，それは小麦において最初の大きな成功が得られた（マクニール 2011）．ここでの小麦における**品種改良**とは，元来細長かった小麦の苗を，茎が短く，茎数が多いという品種にするものであった．この改良品種は，化学肥料の大量投入によく反応し，沢山の実を付けた．そしてそうなっても，茎が短くがっしりとしているため，倒れにくく，農業機械による収穫にも適していた．なお，この改良小麦の作成においては，昭和初期の日本の農業試験場で生まれた半矮性の小麦である小麦農林10号が大きな役割を果たした．小麦農林10号には，背が低く丈夫で倒れにくい，生長が早い，寒さに強い，収穫量が多いという長所があったものの，雨の多い日本の気候には合わず，あまり普及しなかった．しかし第二次大戦後，GHQにより米国に持ち込まれさらなる交雑が加えられたことで，この日本の戦時下における食糧不足を解決することのなかった小麦農林10号は，やがて世界の食糧事情を一変させた．

緑の革命は，米国ロックフェラー財団の農科学者ノーマン・ボーローグ博士と，彼の率いたチームにより始められた（ヘッサー 2009）．彼らは，新しい品種や，それを栽培するための一連の技術を開発しただけではなかった．この品種と技術を，実際に食糧の増産につなげる過程に存在する，あらゆる障害と闘った．たとえば，植え付けの時期や栽培の方法，施肥や除草，害虫駆除の方法などをセットで農民たちに教え，また多くの農業指導者をさまざまな国において育成するべく組織作りも行った．さらには，大量の化学肥料を要求するこれらの品種のために，化学肥料の調達，農民への資金貸し付け，さらには小麦の売買価格といった，一連の農業経済政策の変更を迫った．その結果，1950年頃，飢餓の危機に瀕していたメキシコにおいて，7年足らずで国内の小麦生産量を2倍にし，そして1956年までには小麦の国内自給を可能にさせた．続いて彼らは，1968年までにパキスタンで，1972年までにインドで，小麦の自給を達成し，それらの国々の米国からの援助食糧への依存を解消させた．この手法と戦略は，その後，ほかの多くの国々において農業生産プログラムの手本となり，また同様の育種革命が，ジャガイモ，トウモロコシにおいても達成された．

7.2.2 グローバル市場での商品となった余剰食糧

1960年には1.4兆ドル（2010年の米ドル価値換算）であった世界総生産は，2010年には63兆ドルへと成長した（The World Bank 2013）．そしてこの間，世界の商取引額のうち国際貿易が占める割合がおよそ19％から48％に増加しており，各国の経済規模が単純に増加しただけではなく，国どうしの結びつきの深化，すなわち経済の**グローバル化**が進んだことがわかる．このような流れにおいて，近代農業の普及により生産国だけでは消費しきれなくなった余剰食糧は，やがてグローバル市場に流通する商品となった（図7.2.1b）．主要穀物の世界生産量のうち国際取引された比率は，2010年において，小麦で22％，トウモロコシで13％，米で4％となっている．また，世界の総食料販売金額に占める国際貿易の比率は約10％を占めている（Millstone・Lang 2009）．このような，近代農業と食糧の広域流通システムの組み合わせが，現代の食料システムの根幹である．

ただし，緑の革命が広まった第三世界で増産された食糧は，主にそれぞれの国内において消費されている．実際に年200億ドル以上の食料輸出国は，北米・ヨーロッパ・オーストラリアの先進国以外では，ブラジルと中国のみとなっている（Millstone・Lang 2009）．また，アフリカ大陸からの穀物の輸出は世界レベルではほぼ無視できるほど僅少であるが，2010年時点で世界の小麦・トウモロコシ・米の輸入重量の，それぞれ，26・13・29％を占めている（FAO 2012）．このように，世界全体として見た場合には，先進国の余剰食糧が途上国に流通するという構造が生じている．これは先進国では，農産物の生産・流通に関わるインフラが整備されており，また大規模農園による「**規模の経済**」のメリットが発揮できることにより，品質が高くて安い農産物を安定的に供給できることに起因している．

7.2.3 現在の食料システムがもたらした利点

近代農業による食料の増産は，公衆衛生の向上と相まって，世界の人口を激増させた．実際に，緑の革命が導入されたメキシコでは約5倍，インドでは2倍以上もの人口増加が，緑の革命から21世紀初頭までの間に生じている．このような第三世界の国々における人口爆発の結果，1950年に約25億人であった世界人口は，1987年に約50億人，そして2011年には70億人に到達している．同時に，

世界の平均寿命も，1950-55年の約48歳から，2005-10年の約68歳と，大幅に伸びた（United Nations 2010）．

すなわち現在の食料システムは，巨視的には，人類にかってない繁栄と健康をもたらしたと言えよう．これには，食糧生産の絶対量が増大したことが大きいが，それだけではなく，食料流通における地産地消の制約が解消され，食料の供給が安定的になったことも大きい（Desrochers & Shimizu 2012；デロシェール・清水 2012）．すなわち，不作の年には他の地域で豊作であった食糧を消費し，逆に豊作であった年には他の不作の地域に食糧を販売するといった要領で，食糧生産において避けがたい年々変動を平均化できるようになったのである．現在では，少なくとも先進国においては，大規模な中間業者がさまざまな地域から農作物を集荷し，検査し，仕分けし，包装し，配送することにより，消費者は，一定の品質が確保された食材を，欲しいときに欲しいだけ近くの小売店から入手できるようになった．実際に今日栄養失調に苦しんでいるのは，海外から食料を買う経済力を持たないため自給自足の伝統農法を営んでいる，主にアフリカ大陸のサハラ以南の人々である．

また，食料マーケットの地理的な拡大は，各地域がそれぞれの気候風土に合った産物の生産に特化することにより，より品質の高い食材を効率よく供給できるシステムを築いた．たとえば，食糧の貿易は，基本的には水あたりの生産性が高い国から低い国へと行われており，そのような貿易をなくすのならば，大量の水資源が追加的に必要となり，その量は，2000年の値で455 km^3/年にも上ると計算されている（河村 2003）．世界の農業用水消費量は約1750 km^3/年であるので（沖 2012），この量は決して少なくない．すなわちマクロに見た場合には，食糧の国際取引は，世界の水資源の使用量を節約しているのである．また，無理に地産地消を行うよりも，適地適作された作物を遠方より輸送する方がエネルギー効率の高い場合もある．たとえば，トマトをイギリスで生産するためには温室栽培が必要になるため，1 kgのトマトに対して2.4 kgものCO_2が排出されるが，スペインで露地栽培したトマトをイギリスに運搬した場合には，1 kgのトマトに対して0.63 kgのCO_2排出に抑えることができる（Smith et al. 2005）．

7.2.4 現在の食料システムがもたらした問題

緑の革命に伴った農業の機械化と大規模化は，少ない労働力で大量の食糧を生産することを可能にするものであり，食糧増産に伴った人口増を吸収できるほどの雇用を作らなかった．その結果，20 世紀後半には，農村部から都市部へという，雇用の機会を求める人口の流れが生じた．実際に，世界の総労働者に農業労働者が占める割合は，1950 年には 67 %であったのが，2010 年には 41 %にまで低下している．そして，都市居住者の世界人口に占める割合は，1950 年の 29 %から，2008 年の 50 %へと増加している（Millstone・Lang 2009）．これらの人々は，零細経営の農業よりも高収入の得られやすい工業などに従事することで，それらの国々に富をもたらした．たとえば，中国では 1990 年代以降に日欧米資本の積極的な導入政策を進め，それにより国民総生産の大幅な増大に成功している．他方で，このような求職者の受け皿となる産業の育成に成功しなかった国々においては，これらの人々を都市スラムの貧困層に変容させることにもなった．

また，食糧取引のグローバル化は，食糧を輸入に大きく依存し，かつ国際市場において強い購買力を持たない国々に対しては，社会の不安定化要因の 1 つともなった．なぜならば，世界の食糧供給は量としては安定化しているが，その価格については，必ずしもそうはなっていないからである（図 7.2.2a）．食糧の国際取引価格が大きく変動する主な理由の 1 つは，原油価格の変動である（図 7.2.2a,b）．すなわち高い原油価格が，農業生産や運送のコストを高くすることで，食糧の小売価格の高騰をもたらすのである．図 7.2.2 の（a）と（b）とを比較すると，原油価格と穀物価格の値動きは，強く連動している様子がわかる．しかし，食糧の国際取引価格の変動幅をより強く支配しているのは，金融的な要素であろう．すなわち世界経済の見通しに不安が生じると，**信用リスク**を持つ債権や株式から，信用リスクを持たない食糧・原油・金といった実物商品への**国際資本移動**が生じるのである．図 7.2.2c は金価格の推移であるが，これも原油価格と強く連動している．金は，毎年新たに採掘される量よりも，これまでに採掘されたストック量の方がはるかに多いため，その価格変動は世界経済の不安を反映する良い指標になる．

2007-08 年には，原油価格の上昇，過度に金融に依存した世界経済の信用収縮，バイオエネルギー戦略を含んだ政策，投機の流れなどが重なり，この 2 年間だけ

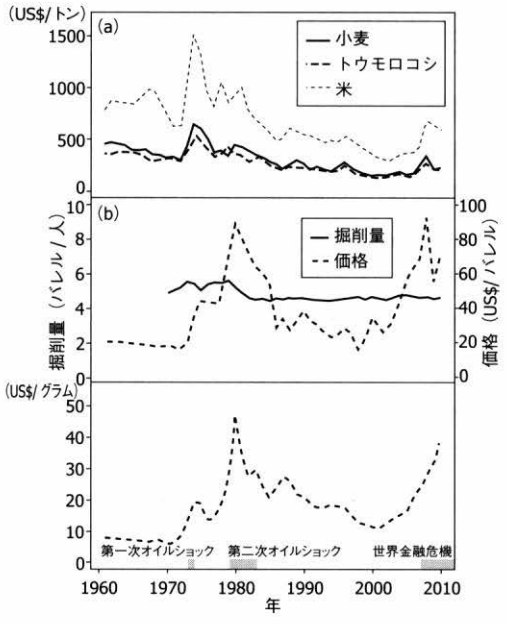

図 7.2.2（a）主要穀物の国際取引価格の推移．（b）原油の国際取引価格と人口あたり掘削量の推移．（c）金のニューヨーク市場価格（New York Market Price）の推移．なお，全ての取引価格は米国の消費者物価指数（CPI）によるインフレ調整を行ったものである（FAO 統計資料，合衆国エネルギー省，国連経済社会局人口部（2010）*World Population Prospects : The 2010 Revision*, InfrationData. com, MeasuringWorth. com）

で世界の穀物価格は2倍近くも上昇した．この食糧価格の上昇は，北アフリカや中東の人々に大きな生活不安を引き起こし，これが2011年の「**アラブの春**」の原動力の1つともなった（及川 2009）．この「アラブの春」においては，シリアでは内戦が生じ，チュニジア・エジプト・リビア・イエメンでは政権が崩壊し，その他の北アフリカや中東の多くの国々においても大規模な暴動が発生した．これらの国々の多くは，カロリーベースでの食料自給率が50％以下であり（FAO 2006），かつ1人あたり国民総生産が年5000ドルを下回っており，あるいは石油輸出によりもたらされている富が公平に分配されておらず，人々の生活費に占める食費の比率が高いという特徴を共有している．なお，この時期には最大時で12か国が米や小麦の輸出を禁止し，このような国際マーケットにおける食糧価格の暴騰の影響を防ぎ，国民の最低限の食糧へのアクセスを確保した（生源寺 2011）．このように，食糧自給率を高く維持することは，国際マーケットにおいて強い購買力を持たない国々においては，現在においても食の安全に大いに貢献するものである．

農業は，国土の保全，水源の涵養，良好な景観の形成，文化の伝承など，さまざまな副次的な機能を持つ場合がある（大賀 2004）．例えば，地形が急峻で雨量の多い日本においては，水田稲作の営みは，洪水防止，土砂流出防止，土壌浸食防止といった国土保全機能をもたらしているとされる．これらの機能は，農産物

のように市場で評価されることはなく，国民が対価を直接支払わずに享受できる公共財としての性格を有している．現代の食料生産システムの普及は，農村地域からの人口流出を促すことで，また農業の手法を変容させることで，これらの機能を低下させる場合がある．

7.2.5 今後の食料生産

(a) 楽観的な要素

今後の作物生産性の見込みについては，比較的楽観的な見通しも多い（たとえば，川島 2009；浅川 2010）．その理由の 1 つは，現在の地域収量が達成可能な水準より相当低く，また大幅な向上の余地があることである．緑の革命により，世界の食料生産力は大幅に向上したものの，年 6 トン/ha 以上という穀物生産性の現在の上限に達している農地を有している地域は，イギリス，フランス，日本周辺と，アメリカの一部と決して多くない．また，南米，サハラ以南のアフリカの広大な地域，インドネシアと中国南部は，土壌改良や，品種改良作物などの導入によって，収量の高い農地に転換できる可能性がある．さらに，世界の農業地の 22 %が，価格調整などの理由により休耕地となっている．

世界の食糧生産の見通しを楽観的に見ることのできる理由のもう 1 つは，トウモロコシに代表されるように，**遺伝子組み換え技術**による収量ポテンシャルが継続的に増加していることである．これまでの品種改良は，交配可能な系統の範囲から有望な遺伝子を導入するものであったが，遺伝子組み換え技術の応用は，この壁を取り除くものである．遺伝子組み換え作物の安全性については，その歴史の浅さもあり，多くの議論がある．しかし，殺虫剤の使用量を減らせる，除草剤への耐性が強いなど，栽培上のメリットを多く与えることができ，さらに人の健康被害は報告されていないこともあり，その利用は着実に増え続けている．米国では 2012 年時点において，作付けされるトウモロコシの 93 %，大豆の 88 %（作付比率）が遺伝子組み換え品種となっている（NASS 2012）．

(b) 懸念される要素①——農作地の劣化

現代農業の持続性における，1 つの懸念材料は，**土壌流失**や**塩害**といった農作地の劣化である．土壌流失は人類史において，文明の崩壊や弱体化を繰り返し生

じさせた古典的な環境問題であるが（ダイアモンド 2005；2.1 節も参照），化学肥料を多用する現代の農法は，土壌に有機物を戻さないため一般に土壌流失をさらに促進させる．たとえば，1990 年代後半の米国インディアナ州の農場では，1 トンの小麦を生産する際に約 1 トンの土壌が失われていたという（モントゴメリー 2010）．発展途上国においても，人間活動による土壌流失が耕地を劣化させることで，2 億 5000 万人の生活に直接の影響を及ぼしているという．オランダの国際土壌情報センターの推定では，全世界で 2000 万 km^2 近い土地が人為的な要因で劣化したというが，この面積は北米のそれに匹敵する（マン 2008）．また，灌漑面積の増大に伴って，世界各所の農作地に塩害が生じている．このような，生産性増大の環境への悪影響は，たいていは市場価格には含まれていないため，社会的に許容されるか，あるいは無視されている場合が多い（Millstone・Lang 2009）．

(c) 懸念される要素②——栽培品種の単純化

近代農業においては，高収量かつ流通させやすい品種が選好されるため，特定の栽培品種を多地域で栽培する傾向が強まる．その結果，たとえば米国では野菜・果物の伝統的な品種の 90％がすでに失われ，フィリピンでは，稲の品種がかつては何千種もあったものが，今では 100 種ほどしか栽培されていないと推定されている（シーバート 2011）．このように世界の農作地から系統の多様性が失われた結果，それぞれの品種が持つ耐病性を克服する疫病が発生した際に，その影響が全世界に飛び火する可能性が増した．なぜならば，病原菌は，ごく限られた種や品種にのみ病害を引き起こすという，**宿主特異性**を持つからである．このような病原菌の宿主特異性は，有性生殖を進化させた要因である可能性が高く，また種多様性を維持する原動力の 1 つとも考えられており，その潜在的に大きなインパクトから生物集団は逃れられない（リドレー 1995）．

作物品種の単純化に伴った病害の蔓延は，19 世紀初頭のアイルランドで飢饉を起こしている．当時のアイルランドでは新大陸からもたらされたジャガイモが広く栽培され，小作農の主食となっていた．ところが，そのジャガイモに疫病が広がり生産量が大きく落ち込むと，食糧危機が起きた．これにより餓死者や移住者が続出したことで，アイルランド島の総人口は，最終的には疫病発生前の半分程度にまで落ち込んだという．一方で，ジャガイモの原産地であるペルーにおい

ては，何百もの品種をさまざまな場所に分散させて栽培することで，主食のジャガイモが病虫害や天候不順で全滅するリスクを避けていた（シーバート 2011）．現在の農業は，このような手間を殺菌剤や殺虫剤に肩代わりさせている．しかし，病原菌や害虫が抵抗性を進化させる余地を持たないような農薬を開発することは，現在においても至難である．その理由は，病原菌や害虫の種類が多様であることに加え，殺菌剤・殺虫剤・除草剤といった農薬は次に述べるさまざまな制約の下で開発されているからである（梅津・安藤 2004）：(1)病原菌・害虫・雑草には大きな効果を与えながら，その一方で作物と人間には害が少ないという種特異的な効果を持つこと，(2)散布後は速やかに無害な物質に分解され，環境中に残留しにくいこと，(3)大量生産が可能で極力安価であること．

(d) 懸念される要素③——資源制約

先に説明したように，化学肥料は，窒素，リン酸，カリウムの三大成分によって構成される．このうち窒素成分については，空気の体積の 78％を構成する気体窒素（N_2）を高温高圧下で水素と反応させ固定することにより合成されるため，エネルギーさえ投入できれば無尽蔵に生成可能である．他方で，リン酸とカリウムについては，それぞれが鉱物資源から主に生成されており，そのうちリン酸の原料となるリン鉱石については，その枯渇も懸念されている（富松 2013）．ただし，リン酸は窒素と異なり，ほとんど水に溶けず，散布された土地からは作物の収穫や土壌流出によってのみ逸失する．そのため，今後値段が高くなるに従って，ヒトや家畜の屎尿，および食品廃棄物などからリンを回収して再利用するシステムが，経済的に成り立ってくるものと思われる．

近代農業と食料の流通システム，すなわち現在の食料システムには膨大なエネルギーが必要とされるが，それは石油などの化石燃料に強く依存しており，これがそれを持続させることの基本条件である．石油が枯渇するという危機は，これまでも繰り返し指摘されてきたが，新たな油田の発見や，海上油田の開発などによって，2010 年現在でも人口あたり原油採掘量は安定した水準を保っている（図 7.2.2b）．また，より深い海底油田からの掘削も技術的に可能となってきている．とはいえ，陸上油井から自噴したり，簡単なポンプによる汲み上げが可能であった過去に比べて，その採掘コストは当然ながら高くなっている．また深海という厳しい環境での掘削作業には，2010 年の**メキシコ湾原油流出事故**のような

環境破壊を起こすリスクを伴うため，今後の大幅な増産には困難が伴うかもしれない．

米国では2000年代中盤より本格的な**シェールガス**の生産量を開始しており，その生産量は今後もさらに拡大すると予想されている．シェールガスの開発に際しては，パイプライン，ガス精製プラント，ガス貯留施設などのインフラ整備が不可欠であり，最新の掘削技術を使用しても，それらの採算を取るためには，原油価格が1バレルあたり70ドル以上であることが必要であるという（ディッキー 2012）．さらに，地下水や土地の汚染など新たな環境問題を引き起こす可能性があり，予測の難しいリスク要因も潜んでいる（Vidic et al. 2013）．そのような状況にもかかわらず，多くの国際石油資本が，そのようなインフラへ膨大な投資を行ったという事実は，彼らがさまざまな要件を徹底的に検討した末に，安い石油の時代が終わったことを確信した証拠であろう．

石炭は固形であり，飛行機・自動車・船などの移動機械の燃料としては利用がしにくいため，主に発電や暖房の用途に利用されている．しかしこの欠点は，石炭を粉末にし，精製し，そして高温高圧下で水素と化合させ炭化水素にする**石炭液化技術**によって解消することが可能である．実際に，この技術により生産された合成燃料は，経済封鎖された第二次大戦中のナチスドイツを支え，彼らが戦争で使用する航空燃料の約9割を賄ったという（大河内 2012）．この石炭液化技術は，第二次大戦後に中東から安い石油が大量に世界に供給されるようになると，世界的にはほとんど利用されなくなった．しかし，原油価格が1バレルあたり45ドル以上になれば採算が取れることから，2000年代中盤以降の原油価格の高止まりを背景に，中国では250億ドルもの開発投資を行うなど，今後大幅な増産が見込まれている（フリンベンカット 2007）．

これらシェールガスや液化石炭までも含めた化石燃料は，それらの需要が急増しない限り，今後100年以上は枯渇しない見通しのようである．しかし，20世紀後半の20年間のように，原油1バレルあたり25ドル程度という安いエネルギーが使える時代は再び来ない可能性が高い．すなわち食料を，現在の規模，またはより拡大した規模で生産できたにせよ，それをかつての水準で安く入手できる時代は終わった可能性が高いだろう．

(e) 懸念される要素④——気候変動

CO_2 をはじめとする人間活動に由来する**温室効果ガス**の大気中濃度の増加に伴って，地球の平均気温は今世紀末までに 1.1-6.4℃の範囲で上昇すると予測されている（IPCC 2007；また 2.3 節を参照）．ただし，地球全体が均一に温まるのではなく，一般に海上よりも陸面で，また低緯度帯よりも高緯度帯で，より強い気温上昇が生じると予測されている．降水分布の予測は，気温のそれよりも技術的に難しいものの，比較的確かとされる傾向は，現在の降水量分布のコントラストが強まるというものである．すなわち，比較的水資源が豊富な高緯度地域やいくつかの熱帯湿潤域などで年間平均河川流量と水利用可能量は 10-40％増加し，逆に比較的水資源の乏しい熱帯・亜熱帯の乾燥域においては 10-30％減少するというものである（IPCC 2007）．

IPCC（2007）は，1-3℃までの気温上昇であれば，世界全体の作物生産能力は増大すると予測している．しかし，その生じ方には地域間の差が大きく，たとえば，乾季のある地域や熱帯地域では，1-2℃の平均気温の上昇でさえ，作物生産性が低下すると予測されている．他方で，このような小規模な温暖化に対しては，栽培品種や播種時期を適切に調節することで，広い地域における穀物収量を維持することが可能ともしている．

また気温上昇に伴い，融雪水が重要な水資源になっている地域，たとえばヒマラヤの氷河融解水を水源とするガンジス川や長江の流域では，農業への悪影響が生じると考えられている．これらの河川では，夏季には雪解け水が水源となることで，流量が季節を通じて安定し，利用しやすい水資源を提供している．すなわち，上流域の雪や氷が天然の「**白いダム**」として機能しているのである．ただし，気候変動が農業に及ぼす影響については，気候変動の予測不確実性に加えて，どのような適応策（インフラ整備や作付けする作物の変更など）が各地域で取られるかという人間社会の応答によっても大きく影響されるため，その予測不確実性が高い点には留意しなければならない（長谷川 2012）．

なお，大気中 CO_2 濃度の上昇そのものは小麦，稲，大豆といった作物の生産量増加に寄与する（長谷川 2012）．その 1 つの理由は，光合成の材料の 1 つである大気中 CO_2 が葉内に効率的に取り込めるようになることであり，これは **CO_2 の施肥効果**と呼ばれる．もう 1 つの理由は，水の利用効率，すなわち水消費量あたりの光合成量が増大するからである．CO_2 は，葉の気孔と呼ばれる小孔から

葉内に取り込まれるが，その過程で葉内から外部への水蒸気の漏れ，すなわち蒸散が生じる．蒸散は葉の温度を下げるといった機能も持つものの，一般には植物にとっては極力避けるべき現象であり，その証拠に，光合成を行わない夜間や曇天時，また大気や土壌が乾燥している場合には，気孔を閉じるという制御が多くの植物種で取られている．そして，大気中 CO_2 濃度が上昇すると，気孔を大きく開放しなくとも十分な CO_2 が取り込めるようになるため，気孔の開放度は全体に下がり，それによって植物が蒸散で失う水の量が少なくなるのである．

他方で大気中 CO_2 濃度の増大は，トウモロコシ，サトウキビ，ソルガムといった作物の生産性には，ほとんど影響を与えない．これらの作物は，高温で乾燥した環境への生理的適応として，元より気孔を大きく開放しておらず，またそうであっても CO_2 濃度が光合成速度の決定要因としてあまり効いてこないからである．この生理的特性は，葉内に CO_2 を有機酸として一時的に固定して濃縮し，それを用いて光合成を行うことにより達成されており，そのような形態で行われる光合成は **C4 型光合成**と呼ばれる．C4 型光合成は，CO_2 を固定・濃縮する過程でエネルギーを消費するために，乾燥のストレスやリスクの少ない環境では，非適応的な形質である．なお，CO_2 を固定・濃縮しない，より一般的な方法で行われる光合成は **C3 型光合成**と呼ばれる．

7.2.6　グローバル社会の中での食糧政策

今では私たちの身体に含まれる窒素の半分から 2/3 がハーバー・ボッシュ法に由来しており（大河内 2012；ダン 2013），また現在の農業が利用する石油量は全石油消費量の 30％を占めている（モントゴメリー 2010）．つまり人類の身体のかなりの割合は，生態系循環の外にあるエネルギーによって維持されているのである．また，2010 年時点で 1 億トンもの化学系窒素が世界で使用されているが，これを代替するのに必要な有機堆肥の量は約 65 億トンであり，仮にこの量を家畜の屎尿で確保しようとすると，現在の家畜数を 4 倍以上に増やさなければならず，これは現実的ではない[1]．また 65 億トンという量は，世界の穀物生産量の

1）堆肥乾重中の窒素が占める割合を 1.5％と仮定．肉 1kg を生産するのに必要な飼料の量を，牛 11kg・豚 7kg・鶏 4kg と仮定し，ここに FAO の 2009 年統計資料における世界の家畜

2.5倍に達するため，人間の屎尿を極力回収して堆肥にしたとしても，とても賄えるものではない．さらに現在主に栽培されている高収量の作物は，殺菌剤・殺虫剤・除草剤といった石油化学製品が適切に使用されることを前提に育種されたものであり，これらを使用しないのであれば，収量や省力性の点で劣る在来品種を作付けしなければならない．すなわち，現代の食料生産や流通システムを現在の規模で維持するためには，どうしても生態系循環の外部からエネルギーを投入し続けなければならないのである．

食糧政策は，このような現実を見据えながら，長期的・戦略的に立案されなければならない．たとえば日本は，食料自給率よりもエネルギー自給率のほうがはるかに低い状態にある．エネルギーは食料の生産，輸送，消費のすべての場面で必要であるが，さらに，食料を輸入する外貨を得る産業を維持する点でも決定的に重要である．また，エネルギーが十分に輸入できる状況において，食料は輸入できないという事態は考えにくい．よって，日本の食糧安全保障の観点からは，食料自給率を上げる努力をするよりも，エネルギーが輸入できない事態に陥らないように努力する方が現実的といえよう（沖 2012）[2]．また同時に，土壌流失・土壌塩化・気候変動といった，経済原理による解決のインセンティブが働きにくい食料生産リスクの世界的動向も，注意深く観察を続けなければならない．

参考文献

浅川芳裕（2010）：『日本は世界5位の農業大国』，講談社．
梅津憲治・安藤彰秀（2004）：環境に配慮した農薬の開発．日本農薬学会編集『農薬の環境科学最前線』，5章1節，ソフトサイエンス社，pp. 224–248．
及川忠著，鈴木宣弘監修（2009）：『最新 食糧問題の基本とカラクリがよ〜くわかる本』，秀和システム．

数を乗算した．なお，放牧されることが多く，屎尿の回収が困難な羊と山羊は計算から除外した．

2）そもそも，高い食料自給率が，必ずしも食の安全を保証するわけではない．本節の冒頭で述べた1930年代の昭和東北大飢饉は，1929年より始まった世界大恐慌の影響と相まって，大きな社会不安をもたらし，その後の日本の軍事的冒険主義の主要因の1つとすらなった．当時の日本のカロリーベース食料自給率は，おそらく100％近かっただろう．他方で，1993年にも冷夏による米不足が生じたが，このような規模での社会的混乱は生じなかった．農林水産省の統計資料によると，1993年時日本のカロリーベース食料自給率はわずかに37％である（1992年と1994年は46％）．

大賀圭治（2004）：多面的機能と持続的食糧生産．大賀圭治著『食料と環境 環境学入門 7』，8章，岩波書店，pp. 169-183.
大河内直彦（2012）：『「地球のからくり」に挑む』，新潮社.
沖大幹（2012）：『水危機，本当の話』，新潮社.
川島博之（2009）：『「食糧危機」をあおってはいけない』，文藝春秋.
河村愛（2003）：『仮想投入水量を考慮した世界の水逼迫度の経年変化』，東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻修士論文.
シーバート，チャールズ（2011）：シリーズ 70 億人の地球 食の未来を守る．ナショナルジオグラフィック日本語版，2011 年 7 月号，日経ナショナルジオグラフィック社.
生源寺眞一（2011）：『日本農業の真実』，筑摩書房.
ダイアモンド，ジャレド著，楡井浩一訳（2005）：『文明崩壊――滅亡と存続の命運を分けるもの』，草思社.
ダン，チャールズ（2013）：化学肥料で“肥沃”になった地球の未来．ナショナルジオグラフィック日本語版，2013 年 5 月号，日経ナショナルジオグラフィック社.
ディッキー，クリストファー（2012）：世界の勢力図を塗り替えるシェール革命．Newsweek 日本語版，2012 年 12 月 12 日号，阪急コミュニケーションズ.
デロシェール，ピエール・清水裕子（2012）：地産地消は地球に優しくない．Newsweek 日本語版，2012 年 8 月 8 日号，阪急コミュニケーションズ.
富松裕（2013）：持続可能な農業に向けた適応型技術の可能性．東北大学生態適応グローバル COE 編『生態適応科学』，3 章，日経 BP 社，pp. 78-95.
マクニール，J. R. 著，海津正倫・溝口常俊監訳（2011）：『20 世紀環境史』，名古屋大学出版会.
マン，チャールズ（2008）：食を支える土壌を救え．ナショナルジオグラフィック日本語版，2008 年 9 月号，日経ナショナルジオグラフィック社.
モントゴメリー，デイビッド著，片岡夏実訳（2010）：『土の文明史』，築地書館.
長谷川利拡（2012）：農業への影響．江守正多・気候シナリオ「実感」プロジェクト影響未来像班編著『地球温暖化はどれくらい「怖い」か？ 温暖化リスクの全体像を探る』，5 章，技術評論社，pp. 164-192.
フェイガン，ブライアン著，東郷えりか訳（2008）：『古代文明と気候大変動――人類の運命を変えた二万年史』，河出書房新社.
フリンペンカット，エミリー（2007）：バイオ燃料より有望，液化石炭の未来．Newsweek 日本語版，2007 年 1 月 3 日号，阪急コミュニケーションズ.
ヘッサー，レオン著，岩永勝訳（2009）：『“緑の革命”を起した不屈の農学者 ノーマン・ボーローグ』，悠書館.
リドレー，マット著，長谷川真理子訳（1995）：『赤の女王――性とヒトの進化』，翔泳社.
Desrochers, P. & Shimizu, H. (2012) : *The Locavore's Dilemma : In Praise of the 10,000-mile Diet*, PublicAffairs.
FAO (2006) : *FAO Statistical Yearbook 2005-2006 Vol. 1.*
FAO (2012) : *FAO Statistical database*, http://faostat.fao.org
IPCC (2007) : Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In : *Climate Change 2007 : the Physical Science Basis*, Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. & Miller, H. L. (eds.), Cambridge University Press.
Millstone, E.・Lang, Y. 著，大賀圭治・中山里美・高田直也訳（2009）：『食料の世界地図 第 2 版』，丸善.

NASS (National Agricultural Statistics Service), United States Department of Agriculture (2012) : *Acreage* (29 June 2012) ISSN1949-1522, pp. 25-27.

Smith, A., Watkiss, P., Tweddle, G. et al. (2005) : *The Validity of Food Miles as an Indicator of Sustainable Development : Final Report Produced for DEFRA, AEA Technology Environment.* Report for Department of the Environment, Food and Rural Affairs (UK).

The World Bank (2013) : *World DataBank, World Development Indicators* (*WDI*), http://databank.worldbank.org

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Population Estimates and Projections Section (2010) : *World Population Prospects : The 2010 Revision*, http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm

Vidic, R. D., Brantley, S. L., Vandenbossche, J. M. et al. (2013) : Impact of Shale Gas Development on Regional Water Quality. *Science*, 340, 1235009.