Perspective of natural eco-system and food production in the world

世界的に見た自然生態系と食糧のこれから

Toshiaki TADANO

Department of Applied Biology and Chemistry, Faculty of Applied Bio-Science, Tokyo

University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo, 156-8502 Japan

TEL: +81-3-5477-2314, Fax: +81-3-5477-2314

(Received 13, May 2003 Accepted 23, June 2003)

Importance of reconstruction of forest ecosystem was emphasized in relation to carbon cycle of the world. Reconstruction of forest ecosystem and use of reproducible energy resources instead of fossil energy are greatly required in order to reduce the CO₂ emission originated from human activity. In the perspective of food problem of the world, suppression of population increase rate together with increase of crop production per unit land area are required. It is estimated that eight billion of population may be maximum to make most humans possible to live without hunger problem.

Keywords : forest ecosystem, carbon cycle, food problem, population

1. 自然生態系における物質循環とその歴史的変遷

自然生態系は、① 大気から CO₂ を吸収するとともに土壌から窒素をはじめとする無機イオンを吸収することによって、無機物から有機物を合成して化学エネルギーを蓄える生産者、② ①の生産者に依存して生活する消費者、③ 生物の遺体や排泄物を無機物に戻す分解者、から構成されている。①の主体は光合成を行う森林の樹木や草本植物であり、光合成細菌類も含まれる。②の主体は光合成能を持たない動物であり、③の主体は土壌微生物である。③にはミミズなどの小動物も含まれる。人間が関与しない自然生態系における窒素を始めとする養分元素、炭素（エネルギー）、水などの物質循環は、本来、上記の3者によって構成される循環系でバランスよく行われており、人間が出現した後も自然の面積に比して相対的に人口が少なかった時代には、人口密度の高いごく一部の都市域を除く多くの地域でこのバランスは保たれていた。しかし、20世紀に入って人口が急速に増加するに伴って、人間の生存にとって必要不可欠である食糧生産のために必要な農耕地の面積が森林面積の犠牲のもとに増加の一途をたどるとともに、人口の増加によって需要が増えた住宅の建築や燃料の原料として森林の伐採が熱帯雨林をはじめとする各地で行われたために、森林面積が急速に減少した (Fig.1)。¹ 歴

史的にみると、このような世界全体としての森林面積の減少は1950年頃までは徐々に進行していたが、1950年以後の爆発的な人口の増加によって著しく加速されている。その結果、自然生態系が本来持っていた物質循環機能が低下して、世界の多くの地域で人間の生存に対して悪影響が出始めているのが現状である。

Fig.1. 世界の人口、耕地面積と森林面積の推移
(内嶋、1992)

2. 森林の環境保全機能

森林が本来持っている主な環境保全機能として、① CO₂ 吸収・固定機能、② 土壌生成機能、③ 土壌保全機能、④ 水保持機能、⑤ 気象保全機能、⑥ 生物種の多様性維持機能、⑦ アメニティー機能などがある。20 世紀の地球上では、工業の飛躍的な進歩によって人々の生活は大変便利になったが、一方で化石エネルギーの大量消費によって大量の CO₂ が大気中に放出され続けた結果、大気中の CO₂ 濃度が上昇の一途をたどっており、地球を温暖化させるに至っている。森林が CO₂ 吸収・固定機能を持つことは、工業生産活動によって放出された CO₂ を固定吸収して CO₂ 濃度の上昇をくい止めるために、森林の保全と修復が不可欠であることを意味する。世界各地の農耕地で大量の土壌流出が起こり、その結果、農耕地の生産性低下が問題になっているが、これも森林が本来持っている土壌保全機能や水保持機能が森林の消失によって失われたためである。森林破壊による気象変動も随所に見られており、生物多様性の減少も森林破壊が一因になっている。これらの森林機能の中で代表的な機能である CO₂ 吸収固定機能が、世界全体としての炭素循環においてどのような役割を果たしているのかについて以下に考察する。

3. 世界全体としての炭素循環の推定

IPCC² が 1996 年に行った調査結果によると、1980 年から 1989 年までの 10 年間を平均した 1 年間当たりの地球全体としての炭素循環は下記の通りである。

地球の炭素貯蔵庫は海洋、陸上生物圏と大気である。このうち海洋には CO₂, HCO₃⁻, CO₃²⁻などの無機炭素化合物として海洋表層部に炭素 (C) 換算で 10,200 億トン (2.4%)、中層と深層部に 381,000 億トン (89.1%) 貯蔵されており、海洋生物として 30 億トン (0.007%)、溶存有機炭素として 7,000 億トン (1.6%) 貯蔵されている (Fig. 2)。陸上生物圏には植物として 6,100 億トン (1.4%)、土壌と有機堆積物 (泥炭など) として 15,800 億トン (3.7%) 貯蔵されており、大気には 7,500 億トン (1.8%) 存在する。括弧中の数値は、海洋、陸上生物圏と大気に含まれる全炭素量に対する % である。その他、地下に化石燃料として炭素換算で 50,000 - 100,000 億トン貯蔵されていると言われるが、この貯蔵炭素は消費系に廻るのみで炭素の吸収源にはならないので炭素の循環系としては発生源としてのみ評価される。

各貯蔵部から CO₂ として大気へ放出される年間炭素量は、化石燃料の燃焼から 55 億トン、熱帯に

おける森林伐採と土地利用の変化に伴う放出量が 16 億トンであって、これらの合計量は 71 億トンになる。

Fig. 2. 1980-1989 年の 10 年間を平均した地球表層における 1 年当たり炭素循環量

(単位：億トン炭素、貯蔵部の炭素量は総量、矢印で示した交換炭素量は 1 年当たりの炭素量、括弧内の数値は、海洋、陸上生物圏と大気に含まれる全炭素量に対する %) (IPCC, 1996)

一方、大気から海洋への CO₂ の年間吸収量は 920 億トン、海洋から大気への放出量は 900 億トンと見積もられ、大気から海洋への正味の吸収量はほぼ 20 億トンと推定される。森林生態系の中心である樹木を主体とする陸上植物は光合成によって大気から年々 613 億トンの炭素を取り込み、植物の呼吸、植物を餌とする動物の呼吸や、動植物遺体を分解する土壌微生物などの呼吸による CO₂ の総放出量は 600 億トンと見積もられ、その差額である植物による正味の吸収量は 13 億トンと見積もられる。さらに、北半球の森林再生による CO₂ 吸収が年間平均 5 億トンずつ増加していると推定されている。これらを合計した量、すなわち、大気から各貯蔵部に吸収される年間炭素量は 38 億トンになる。したがって、炭素の放出量は吸収量より多く、1980 年代の 10 年間を平均すると、71 億トンの放出量から 38 億トンの吸収量を差し引いた 33 億トンの炭素が CO₂ として大気中に毎年蓄積したと推定される。この量は大気中の 10 年平均炭素貯蔵量の 0.44% であり、1980 年に約 339ppm であった大気中 CO₂ 濃度が 1989 年には 351ppm に上昇したことをほぼ説明する。

上記の地球全体としての炭素循環の推定結果は、人間活動の増加によってこれまでになされた化石燃料の消費による大気中の CO₂ 濃度の上昇を、熱帯地域での森林破壊が加速したことを示すものであり、大気中の CO₂ 濃度の上昇をくい止めるためには、破壊された森林を修復するとともに、化石エネルギー

一に替えて再生可能なエネルギー資源を利用することが急務であることを示している。

4.食糧問題の近未来予測

4-1.人口問題

世界的に見た食糧問題の未来予測を論じる場合に人口問題を無視した予測はありえないので、最初に人口問題について論じることにする。1800 年以降の世界人口の推移をみると、1800 年に約 10 億であった人口が 20 億に達したのは 1930 年であり、その間の年平均増加率は 0.7%であった。さらに世界人口が 25 億に達したのは 1950 年であり、この 20 年間の人口増加率は年平均 1.12%であった。これが 2001 年には 61 億 3 千万人になり³、わずか 50 年の間に 2.45 倍に増加し、この間の年平均増加率は 1.78%に達している。

国連人口基金が 2002 年 11 月に発行した「世界人口白書」によると、世界の人口は 2050 年には 93 億人に達すると予測している。現時点においても 36 ヶ国以上の国々で少なくとも 5 億人が食糧不足に直面していると推定されているので、もし世界人口が 2050 年に 93 億人に達する勢いで増加してゆく場合には、近未来における飢餓人口は増加の一途をたどらざるをえないと推定される。

4-2.食糧問題

4-2-1.穀物生産量の推移

人口が増加する場合には当然食糧に対する需要が増加する。そこで、過去 50 年間の穀物生産の推移をみることにする。世界の穀物生産量は、1950 年には 6.3 億トンであったがその後年とともに増加して 1999 年には 20.6 億トンに達した (Fig. 3)。³ 穀物生産量はこの 50 年の間に約 3.3 倍に増加したことになる。この増加率は 1950 年から 1999 年にかけての人口増加率 2.4 倍 (25 億から 59.8 億) よりかなり上まわっており、1950 年と比較すると 1999 年の世界全体としての食糧事情はかなり改善されたとみることができる。ただし、この間に増加した穀物の全てが人間の食糧として直接消費された訳ではない。世界全体としての食肉生産量は 1950 年から 1999 年にかけて 4,600 万トンから 22,590 万トンに増加しており、その増加率は 4.9 倍に達し、現在では世界全体で生産された穀物の約 40%が家畜の飼料として消費されていることを忘れてはならない。食肉生産の増加は、生活水準の増加と対応しており、食生活の多様化をもたらすものであって、人類の食糧問題を考える場合でも決して否定的に取り扱うべきものではないが、食肉摂取量が国によって著しく異なるために、1990 年度統計値で、一人当たり穀物使用量がアメリカでは 800kg

であるのに対して、中国では 300kg、インドでは 200kg⁴であることや、食肉 1kgを生産するために、家禽肉では 2kg、豚肉では 4kg、畜舎飼いの牛肉では 7kg の穀物が必要であることを考えると、人類の飢餓問題が問われる近未来には、相当深刻な問題を含んでいると考えざるをえない。

Fig. 3. 1950-1999 年における世界の穀物生産量の推移 (FAO Year Book)

4-2-2.穀物作付面積の推移

穀物の作付面積は、1950 年には約 6 億 ha であった。この面積はその後 1980 年代まで増加しつづけて、1981 年に 73,500 万 ha に達した後、緩やかな減少に転じ、1999 年には 68,000 万 ha にまで減少した (Fig. 4)。⁴ 1950 年から 81 年までの増加率は約 23%であり、1981 年から 1999 年にかけての減少率は 7.5%である。近年におけるこのような穀物耕作面積の減少は、地球上の各地における土壌浸食の進行、灌漑畑作地帯の塩類集積や、半乾燥地帯において畑作灌漑や飲料水のために地下水が使用され、

Fig. 4. 1950-1999 年における世界の穀物作付面積の推移 (FAO Year Book)

そのために地下水位が低下し、その結果、作物生産が不可能になるほど干魃が進行しつつあることなどに加えて、人口の増加にともなって農地から住宅地、工場用地や道路用地などへの転換が急速に進行しつつあることに起因する。このような状況は、将来においても人口が増加するためにほぼ同様に進行するであろう。

4-2-3.単位面積当たり穀物収量の推移

一方、単位面積当たりの穀物収量は、1950 年の 1.06t/ha から 1999 年の 3.04t/ha までほぼ一定の増加率で増加し続け、この 50 年間に約 2.9 倍増加した (Fig. 5)。⁴ 1950 年から 1981 年までの作付面積の拡大は、生産性の低い土壌に向かって農地を拡大していったことによって達成されたので、この時期における単位面積当たりの収量の増加は、① 高収量品種の開発と普及、② 化学肥料使用量の増加と農薬の開発・利用をはじめとする生産技術の進歩、ならびに③ 半乾燥・乾燥地帯における灌漑面積の拡大におうところが大きかったと考えられる。代表例として化学肥料の使用量の推移を述べる。

Fig. 5. 1950-1999 年における単位農地面積当たり穀物収量の推移 (FAO Year Book)

世界全体としての化学肥料の使用量は、1950 年には 1,400 万トンであったが、年とともに急速に増加して 1989 年に最高値の 14,600 万トンに達し、その後減少に転じて 1994 年まで減少し、その後再び増加しつつ現在に至っている (Fig. 6)。⁵ 1989 年までの化学肥料の使用量の増加と穀物生産量の増加ならびに単位面積当たり収量の増加はよく対応しており、化学肥料の施与量の増加が穀物生産の増加に対して大きな貢献をしたことは間違いないところである。

しかし、1990 年以後に化学肥料の使用量が減少したにもかかわらず、穀物生産総量も単位面積当たり収量も共に増加していることは何を意味するであ

ろうか。一見矛盾するように思われるこのような現象は、① 日本やヨーロッパのいくつかの国のように、1980 年代に既に多量の化学肥料を施与するのが普通の農業技術として定着し、その結果、現在の品種ではこれ以上施肥をしても収量は増加しない施肥レベルに達し、さらには不必要に多量の化学肥料の施与が行われる場合も多くなったことと、② その結果として、これらの諸国では地下水、河川水や湖沼水の中の硝酸をはじめとする肥料起源の養分イオン濃度が上昇し、水質汚染が環境劣化問題として顕在化したため、施肥量を減少するための努力が国家レベルでなされたことを反映していると考えられる。これらの諸国では、施肥量を 10%や 20%減らしても収量は殆ど変化しないレベルの施肥を行っていた地域が多かったと思われる。このような過剰施肥は、国全体としての単位面積当たりの平均化学肥料施与量が比較的低いアメリカやその他の諸国でも、特に主要穀物生産地帯で起こったことである。

Fig. 6. 世界全体としての化学肥料の使用量の推移 (FAO Fertilizer Yearbook)

一方、発展途上国の中には 1980 年代まで施肥を全く行わずに農業を行っていた地域がかなりあり、それらの地域では少量の施肥を開始したことによってそれに対応した収量増がもたらされている。これらの両者があいまって、1990 年以後に世界全体としての化学肥料の使用量が減少したにもかかわらず、穀物の総生産量も単位面積当たり収量も共に増加するという結果がもたらされたと考えることができる。世界全体としての化学肥料の使用量は 1990 年以後減少したが、この趨勢は永くは続かず、1995 年以後に再び増加しはじめ、穀物生産量も継続的に増加した。1995 年以後の化学肥料の使用量の増加はもっぱら発展途上国における使用量の増加によるものであり、これが世界全体としての穀物

総生産量と単位面積当たり収量の増加を継続させた原因である。

4-2-4. 1人当たりの穀物生産量、耕地面積の推移と食糧問題の近未来予測

食糧問題の将来予測をする場合に、これまでの世界全体としての1人当たり穀物生産量の推移は極めて重要な指針になる。そこで、地球上に生存する人間1人当たりの穀物生産量の推移をみることにする。

1人当たりの穀物生産量は、1950年から1999年までの50年の間に247kgから345kgに増加し、この間の増加率は40%であった(Fig. 7)。このことは、世界各国間の食糧の分配が公平になるようなシステムを構築することが可能になり、さらに生産性の高い農地面積が確保されるならば、世界全体としての人口が60億人よりさらに20-30%増加しても現状より飢餓問題が深刻にはならないことを示唆している。人口が20-30%増加した時の世界人口は72-78億人である。

Fig. 7. 1950-1999 年における世界の1人当たり穀物生産の推移 (FAO Year Book)

1人当たりの穀物作付面積の推移をみると、上記の予測は少し楽観的に過ぎるかもしれないことを示唆する。世界全体を平均した1人当たりの作付面積は、1950年には1人当たり0.22haであったが年とともに減少して1999年には0.11haに半減した(Fig. 8)。2030年に世界人口が78億人に達すると仮定し、さらに耕地面積が現時点と変わらないと仮定すると、1人当たりの穀物作付面積は0.09haに減少するという計算になる。

人口の増加にともなう1人当たりの作付面積の減少は、先に述べたように、① 地球上の各地における土壌浸食の進行、半乾燥地帯における塩類土壌の増加や干魃の進行などに加えて、②人口が増加する場合には先にも述べたように、住宅地、工業用地、道路用地、レクリエーション用地などの土地面積が必然的に農地を犠牲にして増加することと、③ ①

と② のために減少する農地面積を補充するための農耕可能な未耕地は南米に少しある程度で、それ以外の地域にはあまり残っていないことに起因する。

世界の総人口が80億人程度まで増加しても人々の生活を保障するに足る食糧供給を可能にする方法は、ただひとつ、単位面積当たりの穀物収量を増加することしか残されていない。しかも、単位面積当たり穀物収量の増加を環境を劣化させることなしに実現しなければならないので、問題は単純ではない。しかし、この問題は近未来における人類の生存の可否がかかっている問題であるので、是非とも実現しなければならないし、また実現可能であろう。農業研究が重要なゆえんである。

しかし、国連人口基金は2050年には世界総人口が93億人になると予測している。人口増加によって必然的に起こる上記の農地面積の減少を考えると、世界の総人口が93億人にも達した場合には、人間らしい生活を送ることが不可能な人々の数は20-30億人にも達する可能性がある。人間は他の動物と異なって叡智を持っているのであるから、世界の総人口が多くても80億人以上にならないようにするために、あらゆる方策を検討し、行動を起さなければならないであろう。

ひるがえって、わが国においては食糧自給率が40%を切るに至っているが、近未来における世界的な食糧問題が上記のような状況であることを考えると、食糧自給率を上げるために最大の努力を払う必要がある。

Fig. 8. 1950-1999 年における世界の1人当たり穀物作付面積の推移と2030年までの予測

(Lester R. Brown, 1994)

参考文献

- 1 環境情報科学センター編：図説環境科学、朝倉書店、p.115 (1994)
- 2 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) : Climate Change 1995, The Science of

Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the IPCC, J.H. Houghton, L.G. Merira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, UK, p. 572 (1996)

³ FAO : FAO Yearbook, Production. Vol. 7 – 53 (1953–1999)

⁴ Lester R. Brown and Hal Kane : Full House, Worldwatch Institute, New York (1994)

⁵ FAO : FAO Fertilizer Yearbook, Vol. 28 – 49 (1978–1999)