生態系の調和と破壊

北 沢 右 三¹⁾

Balance of ecosystem and its destruction by man

YUZO KITAZAWA

Firstly, the structure, regulation, balance and metabolism of Japanese subalpine coniferous forest and British temperate deciduous forest ecosystems, both being the study areas of the International Biological Program (IBP), were elucidated. Secondly, the present state of the destruction of ecosystems caused by human impact was examined in the artificial forest, artificial grassland, cultivated land, rural, urban and industrial areas, marine, coastal and water areas of Japan. And thirdly, regeneration of destructed ecosystem through the course of ecological succession was discussed.

I. 序 言

日本は雨量が多いので、そこにはほんらい森林生態系が発達する。現在は、北海道の東北部や本州の亜高山帯に針葉樹林生態系、冷温帯地域にブナ、ミズナラなどの落葉広葉樹林生態系、西南日本の低地にタブ、シイ、カシ類などの常緑広葉樹林生態系が分布している。しかし第四紀の水河期には、関東平野の低地に亜寒帯針葉樹林生態系が、九州南部に冷温帯落葉広葉樹林生態系が分布していたであろうことが、それぞれに特徴的な植物化石の産出によって示される。このように、気候変化とともに森林生態系の時間的、空間的分布は変化したであろうが、その生態系は自然のすがたを示すものであった。そのうち人間が農耕文化を発達させて森林をきり開き、工業をおこして人口がいちじるしく増加した今日では、自然開発による利点よりもその反面におこる自然砂壌による害が問題にされるようになった。

生態系の調和と人間による、破壊の問題を考える際には、対象としての自然生態系のあり方の知識を確立しておかなければならない。しかし、生態系は生物的自然での最高次の総合完成を示すものであり、その解析と総合には、気候、土壤、植物、動物、微生物の各専門家の共同研究を必要とするので、とくに最も複雑な森林生態系でのそのような研究は従来一つもなかった。最近国際生物学事業計画 (IBP) が行なわれ、これによって地球上

の主要な生態系型についての総合的な研究が行なわれるようになった。筆者も IBP の一環として、長野県志賀山の針葉樹林生態系の研究に参加しているので、そこでの研究とイギリスの IBP の研究例などをもとにして、与えられた表記のテーマについて考えてみたい。

II. 生態系のなりたち

生態系の構造は、その構成要素間の相互関係の総和としてあらわれ、生態系の機能は、構成要素が相互に関係しながら運動することによってあらわれる。生態系の構成要素は表 1 のようにしめされる。生態系が生物と非生物的環境に分けられるのには、生物が界面をもって環境と隔絶されているという、その閉鎖系的側面が強く効いている。一方に、生物と環境が総合されて生態系とよばれる物質系を構成するのには、生物が開放系的側面を持ち、環境との間につねに物質とエネルギーの交流をもつことが強く効いている。

生物群集を構成する部分群集を、生態系の中で果すきわだった役割ということで分類してみると、無機物から有機物を生産する生産者と、これを消費する立場が明確な消費者、および有機物を大量に、最終的に無機界へ還元する役割がめだつ還元者がある。消費する立場というのは、消費者が生産者に対し、宿主-寄生者関係のもとに存在するというのであって、それは宿主の資本をくいつぶすことなくこれを温存し、その収入の一部、または利

1) 東京都立大学理学部生物学教室, Department of Biology, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University.

第1表 生態系の構成要素

子ともいうべき純生産量または成長量の一部に依存して共存する関係である。

1次消費者のなかで、生きた植物体をたべるものは、生態系の中のいわば有機物生産工場を直接に破壊する役割をもつので、植物にたいする宿主—寄生者関係が特に厳守されなければこれと共存できない。これにたいし、植物枯死体をたべる1次消費者は有機物生産工場の破壊はせず、多くの土壤動物にみるように微生物と同様な有機物の分解の役割をにない、局部的には資本としてのおちばなどをいくつかすまで存在してもよい。生態系のなかに、前者の生産量は少量にしか存在できないが、後者の生産量ははるかに多量でありうる。しかし植物枯死体量も植物群落の純生産量の一部にすぎず、後者もまた植物群落にたいする寄生者であることがあらかじめ規定されている。

還元者はからだが非常に小さいため、単位重量あたりの活動力が非常に高く、微細な有機物の破片のなかにもはいりこんで徹底的に分解して無機物に還元する役割がきわだった生物群で、カビと細菌がふくまれるが、森林土壌ではカビの作用がとくに大きく、志賀山の針葉樹林では図1に示されたように、表層の土壌1gの中に実に2.24kmにおよぶ菌糸はいっている。

一方の非生物的環境側の構成要素として、生物をとりまく媒質、地球の重力にたいする生物体の支持環境としての基層、生物の物質交代、エネルギー交代の材料として必要な環境の物質とエネルギーがある。地球上の生命は水を媒質として発生し、のちに陸にあがったものは空気を媒質とし、また土壌中にはいったものもある。基層の性質は、媒質のありかたと密に関係しており、水中で

は堅固な岩質の基層が生物の固着に有利であるが、陸上では岩石ははげしい乾燥や温度変化のためにより基層となりえない。陸上では壤土が、ふつう最良の基層であるが、陸水底の泥は静水の条件下にでき有機物が多く酸素欠乏を生じやすい。基層が動くことは生物にとって大きな障害になりやすい。波浪、風雪、人工などによって基層が移動する場所の生物群集は、大ていきわめて貧弱である。代謝の材料は光合成植物にとっては、光、二酸化炭素、水、塩類、酸素であり、消費者と還元者にとっては有機物、水、酸素である。温度、圧、動き、は生物、非生物をとわず、体温、水温、水圧、気圧、水流、風のようにひろくあらわれる。生産者の代謝の材料の水、二酸化炭素も低温の固体状のものは役にたたない。

以上のような構成要素間の関係、たとえば空間的な配置関係時間的な配置関係、食物連鎖などの諸関係の総和として生態系構造があらわれ、関係しながら運動することによって生態系全体としての機能があらわれる。

現存する生態系のあり方は、歴史的に発展してきたものの現存形態である。地球上の生態系は生命の起源いろいろの地史的遷移をへて、また第四紀の気候変化に対応して明らかにみられる気候的遷移をへて、変化してきたもので、その中には多くの生態遷移が含まれる。生態遷移の基本理論は、生物は生活することによってかならず環境を変革するが、自己の存続に不利な方向に変革するのは衰退または絶滅し、そうでないものや、変革された環境に適応したものは生残、または発展できる、というものである。第四紀生態系の変化は、気候的遷移と人類の出現にともなう生態遷移という二つのめざましいできごととに裏打ちされている。

第2表 地球上の主要生態系の1次生産量(純生産)と植物現存量

R. H. Whittaker and G. E. Hakens (1970) より

生態系の種類	面積		純生産量(年)		植物現存量	
	×10 ⁶ km	%	×10 ⁹ トン	%	×10 ⁹ トン	%
陸上生態系 沼澤, 河川地	149	100.0	109	100.0	1,852	100.0
	2	1.3	1.0	0.9	0.04	
	2	1.3	4.0	3.7	24	1.3
熱帯林 温帯針葉樹林, 低木林	20	13.4	40.0	36.8	900	48.6
	18	12.1	23.4	21.5	540	29.1
	12	8.1	9.6	8.8	240	13.0
	7	4.7	4.2	8.9	42	2.3
サバンナ, 温帯草原 ツンドラ, 砂漠, 極地	24	16.1	15.0	13.8	74	4.0
	50	33.6	2.5	2.3	18.5	1.0
耕地	14	9.4	9.1	8.4	14	0.8
海地	361		55		3.3	
地球全体	510		164		1,855

第1図 亜高山帯針葉樹林生態系の各生物群の食物連鎖と栄養段階

植物については木村允 (1963) の北八ヶ岳での測定値。その他については長野県志賀山 IBP 特別研究地域での測定値が記入してある。 W: 現存量, N: 個体数, C: 摂食量, Pn: 純生産量。

III. 生物群集の調節と生態系の調和

生態系での主要な有機物生産者である光合成植物の生産量は、光、二酸化炭素、水、塩類、温度などによって制限される。光についてみると、葉のような同化器官の表面から日光を吸収し、光エネルギーを化学エネルギーにかえてとりこむのだが、葉が重なればその下の光の量がおちるので、陸上の葉の重なりには限度ができる。葉面積の総和をその下の土地の面積で割った値を葉面積指数とよぶが、その実測値は熱帯多雨林でも 15 から 10、亜熱帯から温帯あたりの広葉樹林は 10 から 5 ぐらいで、亜寒帯の広葉樹林ではもっとさがる。二酸化炭素の含量が空气中で平均 300 ppm ぐらいにすぎないことが炭酸同化量を制限しているし、水は陸上ではとくに偏在がはなはだしく、砂漠やサバンナのような乾燥地域が広く、大陸氷河地域も不毛である。栄養塩類の量も、自然地域での人工的施肥がたいへん有効であることから、その

一般的な欠乏が暗示される。水界では、水による光の吸収のため、植物プランクトンの光合成量が呼吸量を上まわってプラスの純生産量があるところは、よほどきれいな貧栄養の海でも 120m よりも浅いところで、ふつうは 80m 以内、富栄養の湖沼では 2~3 m またはそれ以下の表水層である。水中の有機物の分解による栄養塩類や二酸化炭素の成生は深水層で多くおこるので、これらが表水層に運ばなければ生産者が利用できない。

以上のような理由によって地球上の諸種の生態系での 1 次生産量には限度があり、その量は表 2 の程度と推定されている。

動物の生産量は植物の生産量にたいし前述のように宿主-寄生者関係が成立する程度におさえられなければならない。森林生態系でのその量の実測例はまだきわめてとぼしいが、IBP の一環として長野県志賀山の亜高山帯針葉樹林の自然生態系で研究を進めてきた結果、現時点である見当をつけることができるようになっている。し

第 2 図 森林生態系のエネルギーの流れ

数値はイギリスの IBP 特別研究地域 Meathop Wood で推定されたもの。W: 現存量, A: 同化量 (総生産量), C: 摂食量, F: 不消化排出量, R: 呼吸量, U: 尿量, D: 脱落量, G: 成長量。純生産量 Pn は、植物では A-R, 動物では A-R-U である。(単位は kcal/m²/year)

かし、これからのべるのは大まかな中間的試算にすぎず、結論は1年後の各研究者による最終報告にまたなければならぬことをおことわりしておきたい。

日本の火山地域の亜高山帯針葉樹林の葉の現存量は、北八ガ岳（木村允，1963）や志賀山の調査結果からみて 1 m^2 のあたりの乾燥重量でほぼ $1,000\text{ g}$ ぐらい、その純生産量は 400 g ぐらいのようである。葉をたべる虫の現存量は生重量でせいぜい $1\sim 2\text{ g/m}^2$ ぐらいと思われる、虫の平均体重をかりに 100 mg とすれば $10\sim 20$ 匹となる。これだけの量の虫が1年間にたべる葉の量は乾燥重量で約 15 g ぐらいと推定され、これは葉の現存量の 1.5% 、純生産量の 4% 内外ということになる。この数値からすれば、虫の量が 30 倍になれば葉の純生産量をたべつくし、 70 倍になれば葉の現存量をたべつくすかんじょうになる。これらの虫をたべる鳥類の個体数と現存生重量は 1968 年から 4 年間の 1 m^2 あたりの平均値でそれぞれ 0.0014 、 0.028 g で、この数値は毎年おどろくほど差が小さい。鳥類は繁殖期になわばりをもつが、その場所と大きさがほぼ一定しており、これが個体群の密度調節に大きな役割を果たしている。この量の鳥は、1年間は生重量で約 $5\sim 6\text{ g/m}^2$ の虫などをたべると推定される。これは虫の現存量を 2 g としてもその $2.5\sim 3$ 倍に当っておりえさの生産量がそのくらいなければ鳥の摂食量をまかなえないことになる。鳥はじっさいには地表や枝、幹にいたる小動物もたべるので、その摂食量は葉をたべる虫の現存量の $2\sim 3$ 倍を下まわるのであろうが、それにしても鳥類の食生活のきびしさがおしはかられる。食葉性昆虫が 100 以上の卵をうむことはふつうで、鳥類が減少して虫が数十倍にふえることは、恒常的な群集調節ができていない。人工的な農耕地、造園地、居住地などで局部的にはしばしばおこっている。昆虫などの摂食量が葉の純生産量の約 5% 内外というのは、アメリカ、カナダ、イギリスなどの落葉広葉樹林でも推定された値で、この程度なら虫害は認められない。

土壌動物の群集調節には、その食物連鎖の頂点にあるモグラやトガリネズミなどの食虫類の捕食が大きな役割を果たしているようである。志賀山の針葉樹林の食虫類は、ヒメヒメズモグラとホンシュウトガリネズミが主なものであるが、その 1 m^2 あたりの個体数と現存生重量はそれぞれ $0.002\sim 0.004$ 、 $0.01\sim 0.03\text{ g}$ で、鳥類とあまりちがわない。これらの食虫類はミミズ、昆虫、ムカデ類、クモ類などの大型土壌動物を1年間に 7 g/m^2 ちかくを捕食していると推定され、これは大型土壌動物の現存量の 2 倍以上にあたり、やはりその食生活のきびし

さがおしはかられる。

群集調節はまた、消費者の動物の中で、食物や生活様式がにている種の間の競争の回避によってもひきおこされる。競争というのは絶対量が不足している食物やすみ場所を、 2 種以上の生物が同時に要求しあうときにおきる関係である。もし競争関係にはいらないならば各種とも別状がないが、この関係にはいると双方が生存にたいし不利になり、その状態が永くつづけば絶滅に向うであろう。それが、食物については“くいわけ”すみ場所については“すみわけ”によって回避される、ということがかなり一般的におこっている。

たとえば、ブリとマサバが日本近海に共存しているが、東北大の畑中正吉氏らの研究では、代謝の効率、とくに成長率などはブリの方が 3 倍もたかく、いっしょに飼育しえさをあたえて生物社会的地位をしらべてみると、先にブリがたべてあとでマサバがたべ、前者の優位がしめされる。生活様式では、ブリは朝と夕方に規則正しくたべて、夜は休というように生活に分化がおこっているのに、マサバの方は昼夜をとわず群をなして泳ぎまわり、屋間不規則にエサをとっている。これら 2 種が共存するばあいには、両者に共通の第一級のえさであるカタクチイワシの生産があがる夏から秋の 3 カ月は両者ともそれをたべるが、秋から冬、春、夏にかけての 9 カ月間は、ブリはカタクチイワシをたべるが、マサバは一段下の栄養段階にあるオキアミのような動物プランクトンをたべている。こうして両者の競争が回避され、融通性のあるマサバの方がよく繁栄している。

また京大の動物生態グループの研究によれば、川にアユとウグイ、オイカワ、カワムツなどのコイ科の魚類が共存するばあいには、アユがいなかったり 1 m^2 あたり 0.3 尾以下の低密度であれば、コイ科魚類も川の瀬に出て一級食品のケイソウなどの付着藻類をたべるが、アユが 3 尾以上の高密度になると、コイ科魚類は沿岸か淵へ移って、そこで空中から落下したり流下したりする昆虫などをたべる。これは、くいわけをすみわけの様相をとらえた好例である。陸上でも、花や樹液に集まる昆虫の間に優位、劣位の順位がきまっていて、優位種がいるときは劣位種は周辺に退き、それが去ってから花や樹液のところへ行き、時間的なすみわけにより競争が回避されていることが知られている。限られた水飲み場の諸種の哺乳類の利用時間もまたわかれていた。

群集調節の機構と関係のなかで、それらの規制をうけながら、それぞれの種の個体群の生産調節がおこり、全体としては全動物群集が全植物群落にたいし、宿主一寄

第3図 森林生態系の炭素の循環

記号の説明は図2と同じ。エネルギーの流れは炭素の酸化、還元と結びついているので、炭素循環とエネルギーの流れは前者が“循環”であり、後者が一方通行の“流れ”である点がちがうが、その様式はよくにている。

生者関係を保っている。しかし、これらは構成要素の生物間の相互関係が長い歴史的発展の過程でできてきた自然生態系においてのことで、人間の手で新しく造成されたところでは、新しい種の組合せができて調節やつりあい成立せず、木の葉が虫にくいつくされたり、ある動物が短い期間に絶滅したりすることがおこしやすい。

以上のようなことを内蔵しながら生態系代謝がおこなわれている。図2はイギリスのIBP特別研究地域であるイングランド中部の西海岸にちかい Meathop Wood の落葉広葉樹林で中間的に試算されたエネルギーの流れの数値 (Satchell, 1969) を図1の様式に準拠してつくった流れ図に記入したものである。ここでは鳥や食虫類の研究報告はないが、物質分解と土壌有機物の蓄積量が推定されており、カビの作用量の大きいことが注目される。この森林土壌のカビの菌糸長が乾燥土 1g あたり 0.5 km と計算されているのに、図1の志賀山の針葉樹林では 2.24 km と計算され、その作用量の大きいことを暗示している。図3、図4はそれぞれ図1に対応する炭素と窒素の循環の流れ図、1973年中に志賀山での各

量が推定されるのを期待している。

このような、1次生産、消費、蓄積、還元のあり方は、地球上のツンドラ、砂漠、熱帯多雨林、海洋など、それぞれの地域性に応じて特殊性をあらわしている。熱帯多雨林は、陸上で最大の生物生産が行われる生態系であるが、そこでは植物の枯死部分が地表におちるとすみやかに無機物に還元されて再び生きた植物体に吸収されてしまうので、土壌有機物の量が地上部の生きた植物体の量にくらべてはるかに小さくなっている。ここでは土壌の有機物分解量を有機物の現存量でわった数値で表わされる回転率がたかい。これと反対に北極周辺のツンドラでは、植物の生産量が微生物による分解、還元の量を上まわって有機物の蓄積と炭化がおこり、土壌有機物の地上の生きた有機物にたいする比較はぐんと高くなり、物質分解における回転率は低くなる。

IV. 人間の組みこまれた生態系

以上にのべたのは主として人間の生活のはいらない自然生態系でのあり方であった。しかし、現在の地球上の

第4図 森林生態系の窒素の循環

記号の説明は第2図と同じ。炭素の循環とちがひ、呼吸と直接は結びつかない。

生態系では、人間が、脳が異常に発達した、ずぬけた優占種として登場してきている。優占種の大きな特徴として、環境を変革する作用が大きく、しかも自分の存続に不利な方向に変革していない、ということがある。人間が狩猟と採集によってわずかな食物をえていた旧石器時代のころは、人口密度も低く、その生活による生態系の変化も小さく、亜高山帯針葉樹林では図1に、温帯落葉広葉樹林では図2にかなりちかい生態系のバランスと調節のすがたがあったのではないと思われる。ところがやがて人間が森林をきり開いて農耕文化を発達させるようになると、食物の生産量は飛躍的に増大し、人口は急激に増加した。人間はさらに砂漠や乾燥地にダム、運河をつくって水を供給して農地にさえ、化学肥料を合成して土壌に加え、殺虫剤や除草剤を用いるなどのことにより農業生産を大いに高めてきた。これらは、道路、鉄道、都市などの建設とともに、人間が行なってきた主要な環境変革であるが、それらは人間の繁栄のために有利な方向に進められてきたといえるであろう。このことは18世紀から19世紀にかけての産業革命以後についてもいわれ、人間の産業開発と環境変革は相互促進的に人間個体群の成長を助長する方向に進んできた。しかし、その

後、大規模の機械工業と工業都市が発達し、工業の原料も地球上に広く求められ、産業開発は地球の全域にひろげられてきた。これに、医学の発達による死亡率の低下が加わって人口密度はさらにまし、とくに産業地域への人口の集中がはげしくなり、エネルギー源としても、ともと生態系の物質循環の経路の外にあった石油や石炭をほり出してその経路に加え、微生物の分解による自浄作用がおいつかなくなるにおよんで、ついに人間の環境変革が人間の生活にたいし不利にはたらくようになり、環境破壊と公害の問題が重大化してきた。とくに国土が狭く人口集中のはげしい工業国日本では、森林破壊、大気汚染、水質汚濁、ごみの蓄積、農薬の残留と蓄積、騒音などの問題が国内の広域をおおってあらわれている。このままで進めば都市や工業地域の人間個体群は衰退または絶滅に向わなければならない。

人間に限らず、生態系の構成要素は、生態系のあり方をつくりだすという能動的な側面をもつと共に、できあがった全体のあり方の規制をうけるという受動的な面をもっている。現在、日本で人間が生態系の構成要素としておりこまれて生活する上に、いろいろな問題がおこっているが、それについて、生態系型を陸上と水域に、陸

第 3 表 日本のいろいろな型の生態系で、人間の生活が組みこまれることによって生じてきた諸問題

生態系型			生物群集			非生物的環境		
			生産者	消費者	分解・還元者	媒質	基層	代謝の材料
陸	森 林	自 然 林	対 照 ・ 自 然 保 存					
		人 工 林	成 長	害 虫	土 壤 生 物		土 壤 保 全	
	草 原	自 然 草 原	対 照 ・ 自 然 保 存					
		牧 草 地	生 産 力	生 産 力			土 壤 保 全	
	農 耕 地	畑・水 田	生 産 力 (除草剤)	殺 虫 剤	農薬の分解			
	居 住 地	村・小都市						
大 都 市		破壊・再生	ネズミ・カ	不 足	汚 染	廃棄物・毒物の蓄積		
工 業 地 域								
水 域	海 洋		生 産 力					塩 類
	沿 岸 ・ 内 湾		破壊・赤潮	生 産 力 重金属蓄積	不 足	汚 染	汚 染	酸 素 欠 乏 有機物蓄積
	陸 水		破 壊		不 足			

上生態系をさらに森林、草原、農耕地、居住地にわけ、生物群集の中の生産者、消費者、分解還元者、および非生物的環境の媒質、基層、代謝の材料について、人間の生活とのかかわりあいがあるかどうになっているかをかんたんな表にしたのが表3である。

自然林は現在の日本では地形の急峻な山奥にごくわずかに残されているだけであるが、日本の本来の生態系のありかたをしめすものであり、われわれの祖先もその中で生活をはじめたものであろう。図1や図2の自然生態系のありかたは、人間の生態系変革の程度を考える際の対照としての知識をあたえる。

表3に通覧してあるように、現在の人間によって変革された生態系について、人工林、公園林などでは、植物の成長、害虫、土壌生態の保全の問題がでてきている。自然草原生態系については、日本にも小面積のものが局部的に存在するが、その意義と研究について、それが対照であるという点では自然林と同じ事情にある。高層湿原と高山草原以外の草原は大い森林の失なわれたあとにできた2次的なもののだが、これを牧草地として利用するばあいに、家畜の生産量を草の生産量にたいし宿主一寄生者関係に保つことが、過放牧を避ける上に必要である。農耕地の畑や水田では、除草剤のPCPを分解する細菌がみつかり、これを利用して農業蓄積の問題が解決できるかどうかを追究されている。居住地についてみると、ふつうの村や小都市では問題点は相対的にす

くないが、大都市や工業地域では植生の破壊と再生、ネズミや蚊の問題がある。ネズミなどはまだ社会問題としてかなり潜在的であるが、顕在化のすれすれのところにある。廃棄物が環境に大量に蓄積すれば分解還元者の作用がおよばず、分解されにくい物質の多様と相まって環境汚染の問題を生ずる。

水域では、海洋、沿岸、内湾、陸水にわけると、海洋では石油による汚染問題がある一方に、生産者の植物プランクトンの物質生産の材料としての塩類が深水層からいかにして表水層にでて利用されるか、の問題が魚の生産とも関連して重要である。沿岸や内湾、陸水などでは汚染の問題があり、水底と水層の有機物の大量蓄積と酸素の欠乏で微生物のはたらきが追いつかず、また内湾の赤潮発生の問題がある。そのほかに農薬、重金属、PCBなどの人体蓄積の問題をかかえている。

V. 生態系の破壊と再生

陸上で、植物群落、動物群集、土壌微生物群集、土壌の性質、森林内の微気候などは時間とともに変化して生態系全体の遷移がひきおこされる。クレメンツは、植物群落の遷移を論ずるのに、生物の進化史に対応する地史的遷移、気候変化にともなう気候的遷移、および各気候条件に特徴的な極相に到達する生態的遷移にわけ、生態的遷移をさらに、裸地などの不毛の状態から出発して極相に達する1次遷移系列と、既存の群落の破壊のあとに

生ずる2次遷移系列を区別している。人間はいま、自分が破壊したあとの2次遷移系列をいかに速やかに進めて生態系の再生をはかるかの問題に直面している。人間はいままで大脳を駆使して環境を自己の存続に有利の方向に変革して繁栄してきたが、ここで再びこれを生態系の

変化の予測の方向に使い、変化の結果が人間の生存にたいしすくなくも不利にならぬように手を打っていかねばならない。変化を予測して、自己を生態系の構成要素として新たな調和を求めるべく積極的に組みこんでいくことが必要である。