

生物圏および生物の多様性における変化

実態と戦略

マリオ・タカオ・イノウエ

山本修一 訳

要 旨

人間活動によって引き起こされる生物圏における諸変化、主に大気汚染や砂漠化、また全体的な環境破壊をもたらす諸変化について述べている。森林の樹木の形態や生理、また成長に対する諸影響は、生物の多様性に対する破壊の兆候である。技術的段階と個人レベルでの人間行動の変化を組み合わせることが、少なくとも二十一世紀の人類にとって、生物の多様性を保護していくための実行可能な戦略であることを提案する。

序 説

ある日、釈尊に次のような質問がなされた。「生命は尊いものであるといわれています。しかしそれでもなお、すべての人々は他の生命を殺し、それを食べております。どの生命を我々は殺してよく、どの生命は殺してはならないのでしょうか。」この単純な質問に対して、釈尊は次のように答えた。

「殺したいという気持ちを殺せばよいのです」

この引用をもって、私は今日の講演をはじめたいと思

う。ここでは、技術的な側面から離れて、参加者の方に人間と環境の間には内なる関係性があることを理解するための新たな見通しを喚起し、同時に二〇一二年度の世代の人々に、人類があの一九七二年の会議（訳者注——国連人間環境会議、スウェーデン）以来成し遂げるべきでなかったものを保証する永続性のある戦略として、個人レベルでの人間行動の相互変換を提案したい。

宇宙は因果の法則に調和するリズムに従っており、人間以外のものも巨大な宇宙のハーモニーを反映している。環境と生命は、分かつことのできない相互依存の二つの項目を構築している。自然を観察すれば、生命的存在と非生命的存在との間に、眼に見えない関係の存在を知覚することができる。それはすべてを一に帰しながら、なお各々の独自性を保持しているのである。この関係性のハーモニーは、精緻で信じられぬ程に込み入った、そして巨大な「生命のネットワーク」の各構成要素間の相互関係と、直接的に調和しているのである。さらに、この「生命のネットワーク」は異なったエコシステムを構成し、それらを相互に結び付けている。

人間は理性的能力を発展させ、地球上の他の存在と共存してきた。しかし、その進化の間に、人間は抑制できぬ不安と欲望を増大させ、典型的な草食動物から肉食動物へと変わり、さらにカニバリズム（食人）さえも実行するようになってしまった。

人類の活動による諸変化

文明史においてたやすく見ることでできるものは、人間による天然資源の絶え間ない開発である。人類史の初期において、天然資源の再生能力は、その消費のゆるやかなリズムと十分つり合っていた。しかし指数関数的スケールでの人口増加に伴い、天然資源の再生がそれを開発するリズムに、もはやついていくことができなくなった。その結果が食糧難、種の絶滅、それに伴う生物の突然変異、砂漠化、気候の変化、そして環境汚染である。

人類の活動によってもたらされる生物圏の諸変化は、直接的なものもあれば、間接的なものもある。直接的な作用は、森林破壊、地下資源の採掘、都市化、そして工業化などの形で行われている。間接的作用は、環境汚染

や突然変異誘発剤の製造により引き起こされる疾病、また気候の変化による生産の減少や病気に感染し易くなること等にその影響が認められるものである。

クーバーら (Cooper et al., 1990) によれば、耕作と農地の拡大によって古代メソポタミアでは熱帯林や森林が破壊され、この地方の乾燥化が引き起こされた。また、北アメリカでは、家畜を守るためにピューマ狩りや殺戮がおこなわれた。そして強力な耕作の結果、大規模な砂漠化が起こった。ブラジル北東部では、急速で無計画なサトウキビ栽培に加えて、ブラジルの木 (caatinga) のような木の種類を開発利用したために、乾燥地帯や亜乾燥地帯が発生してしまった。今日、こうした一連の行為の結果として、原住民の人々が新しい環境に十分適応できないこと、また直接的な水不足、また土壌の生産力の低下が見られるのである。

森林破壊による結果は、よく知られている。ミクロ的な気候の変化、土壌の侵食と肥沃度の低下はさておいて、もっともダメージの大きい影響は、生物の多様性の減少に現れる。かりに森林伐採が林業活動や、農業生産、あ

るいは地域開発 (エネルギープラント、鉱山の発掘、都市化など) のためであるとしても、動植物の種が減少する可能性は常にある。ある調査によれば、森林において足跡一つの面積の中に、約四万の微生物が見出されるといわれている。略奪や選択的な開発によって、遺伝学的な変化の大きさはせめられ、エコシステム上の生物の多様性も危険にさらされるのである。

この数十年間、特に熱帯地域で森林破壊のテンポが加速してきている。かつて森林に覆われていたブラジルの都市部では、森林はもとの約5%にまで減少してしまっている。カンボスとランドグラフ (Campos and Landgraf, 1990) は、ミナス・ジェライス州南部のサンプルとなった地域において、五・七%しか自然林がなくなっているという報告している。ヴィエイラら (Veira et al., 1990) によれば、サン・パウロ州はもともと八二%が森林であったが、いまではせいぜい五%になっているということである。アマゾン地域においてさえ、伐採によるジャングルの開発は深刻なものとなっている。ルンツとペレイラ (Lunz and Pereira, 1990) は、アクレ州を調査し

た結果、この地域の四・二%がすでに変貌してしまっていることを報告している。ロダージャンら (Rodertan et al., 1990) による調査では、三〇年以内にパラナ州の南大西洋森林の三六%以上が失われる見込みであることを報告している。

文明の発展と人口の増加にともない、大気汚染物質の放出は極端に増大してきている。人間の活動による窒素酸化物の放出量は、天然にあった窒素酸化物の一五〇%に達している。大気の大気圏におけるこれらのガスの実際の濃度は、前工業化時代におけるそれらの濃度に比べて一〇倍になっていると見られている。炭化水素ガス (非メタン) の放出は、やはり前工業化時代に比べると、四倍になっている。しかしこれらのデータは、工業化された地域でのみ意味をなしている。表1は、大気中における主要ガスの濃度と増加の割合を示している。

近年、いわゆる「温室効果」によって気温が上昇している。この現象は、大気中の炭化水素の変化や分解に加えて、主に燃焼起源による高エネルギー消費が主要な原

表1 大気中の主要ガス濃度とその増加量およびその増加原因 (Schuurmans, 1989)

化学式	物質名	濃度(ppb*)	増加量(ppb*)	人間活動の主要原因
CO ₂	二酸化炭素	350,000	0.4	燃料・炭化水素・腐植分解物
CH ₄	メタン	1,780	1.0~1.4	人・動物・ゴミ・農業・燃焼
CO	一酸化炭素	120	1.0~2.0	不完全燃焼・炭化水素の分解
N ₂ O	亜酸化窒素	310	0.3	燃焼・触媒・肥料・窒素化合物の分解・還元作用
O ₃	オゾン(対流圏)	5-250	2.0~3.0	炭化水素・窒素酸化物
O ₃	オゾン(成層圏)	10,000	-0.6~1.0	CFC および N ₂ O により減少
CFCl ₃	フロン11	0.23	5.0	化学工業
CF ₂ Cl ₂	フロン12	0.43	5.0	化学工業

*訳者注：ppb は体積にして空気の10億分の1の単位

因である。直接的な結果としては、大気中の二酸化炭素 (CO_2)、メタン (CH_4)、亜酸化窒素 (N_2O) の濃度が上昇する。地表から放出される赤外線エネルギーが、これらのガスからなる大気中の層のために (吸収および) 逆放射を起し、これが地球の気温を上昇させる現象となるのである。西暦二〇〇〇年までに二酸化炭素、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、フロン (CFC) の濃度が二倍になると、気温は摂氏一・五度から四・五度の間で上昇し、海水準は五七から三六八センチメートルの範囲で上昇すると、クラフペンバウアー (Krafftbauer, 1986) は予測している。気象学的なプロセスに与える必然的な影響は、さらに大きなものである。

こうしたガスの放出を抑えることと並んで、放出を中和させてしまう方法の開発といった戦略も有効である。この問題に対処する手段として提案されているのは、巨大な造林を行うことである。こうすれば、大気中の二酸化炭素の増加を中和することができる。表2は、二酸化炭素放出の源、量、そして中和能力を示している。自然過程や人間活動によって放出される二酸化炭素の大部分

表2 人間活動による二酸化炭素の年間放出量、および光合成と水圏における炭酸固定による炭素固定量 (Mooney et al., 1987)

プロセス	炭素量 (10^9 トン)	割合 (%)
呼吸	100.0	89.6
燃焼	5.0	4.5
		=94.1*
酸化作用	5.0	4.5
人類活動による CO_2 放出	1.6	1.4
		=5.9**

* 現在のままのエコシステムにおける光合成による地上の二酸化炭素の同化の理論値

** 植物の生育、および水圏における炭酸飽和によって中和された結果の値

(九四・一%) は、現在存在するそのままのエコシステムにおいて光合成の過程で再吸収される。残りの五・九%は成長する植物、たとえば、上に述べたような巨大な造林が地表に広がることによって中和される。だが現在、人間活動によって増加している二酸化炭素を吸収中和させるために、熱帯林種の平均的な光合成能力を基

準にして単純計算すれば、およそ五〇〇万平方キロメートルに植えなければならないことになる。このような夢の計画は、経済的にも、社会的にも、技術的にも、未だに見通しさえ立たない。

都市が排出するゴミも汚染の重大な原因となっている。一キログラムのゴミから二五〇グラムのメタンガスが発生する。太陽エネルギーの存在下でメタン一に対して、一酸化窒素が反応すると、結果的に三・七のオゾンを生産する。このオゾンは特殊であり、広範囲に分布する汚染物質で、森林に重大な影響を与えることが知られている (Krafftbauer, 1990)。オゾンは英雄であり、同時にまた悪漢である。つまり、成層圏の高い層にあるとき、オゾンの薄いマントレスは紫外線に対するフィルターの役割を果たす。しかし生物圏にあるときは、金属を急激かつ強力に酸化するため、環境破壊の最も危険な原因物質の一つとなってしまうのである。

汚染による植物の変化

森林のエコシステムに対する障害の度合い (強さと広

がり) において、植物の変化は可逆的な場合と、非可逆的な場合の二つに分類される。

可逆的な変化

自然の再生プロセスに障害が加えられていない程度の場合

中・長期にわたる変化を伴う不可逆的な変化

遺伝子の突然変異を引き起こしたり、また永久的な形態および生理上の変化を引き起こすほどの障害が加えられた場合

エコシステムレベルでの変化を伴う不可逆的な変化種の絶滅、不毛化また生物の多様性をせざるやうな被害を引き起こすほどの障害が加えられた場合

この最後のタイプの変化が、第一に見るべきものである。なぜならば、この程度の変化になると、地球上での人間そのものの生存に危機をもたらすからである。世界中で様々な種が絶滅してきた事例は、すでに変化してしまった地域、また現在砂漠化の進んでいる地域における植物界だけでなく、動物界においても膨大な数が知

られており、これらはよく知られたことである。

次に述べるのは、異なったタイプの大気汚染によって引き起こされる植物の主な変化をまとめたものである。

一九八八年フランスのナンシーで、森林の樹木の生理についての国際シンポジウムが開かれた。そこでは、大気汚染下での植物の生理学的挙動というテーマが、その会議での特別部門になった。この問題についての様々な論文が提出され、熱心に議論された。ハップワッシュ (Halbwachs 1989) によれば、汚染物質、とりわけオゾンの影響によって植物の外被 (クチクラ) が開いてしまうことが、養分の浸出を含む形態学・生理学的変化を引き起こす障害の連鎖のもっとも大きな原因になっているということである。シミュレーションに基づく研究では、植物のガス交換の際、大気汚染物質による障害の結果として、気孔の伝導度の低下 (Taylor et al., 1989)、光合成速度の低下 (Van Elscker and Impens, 1989)、そして水素潜在量の減少 (Eamus et al., 1989) が示されている。ドイットウヒ (Picea abies) の栄養のアンバランスは、硫酸にさらされる結果であるとシュナイダー (Schneider

et al., 1989) は述べている。

実際の状況下で、イノウエら (Inoue et al., 1990) はクリチバ市の交通量の多い街路に植えられたトウネズミモチ (*Juniperus lucidum*) の木が、郊外の公園に植えられたそれと比べて、はるかに多くの固い小片の塊を葉の上にもっているということを観察した。後者の条件下に比べ、前者の条件下では葉の表面積は一五%小さく、光合成速度は五〇%低くなっている。同じ種についての研究では、イノウエら (Inoue and Coneglian, 1990) の計測によると、汚染の影響を受けない場所では葉の葉緑素 (クロロフィル) 含有量が非常に高く、クロロフィルの光合成能力も六二%高いことを測定している。また黄毛のノウゼンガラス (*Tabernaemontana*) においても、交通量の激しい街路に植えられた場合、光合成速度が低下することも観察されている (Inoue et al., 1992)。

クリチバ市のパラナ連邦大学でおこなわれた試験的調査の結果によれば、葉の色素に関する植物の生理学的状態は汚染のもたらすストレスレベルを反映しているという。異なった植物では異なった挙動を示し、それは、種

が独自にもつ、環境ストレスに対する抵抗性や耐性を示唆していることを示した。

見通しと戦略

異なったエコシステム、とりわけ森林におよぼす環境ストレスの影響は、今日ブラジルにおいても見られる事実である。これについては二つの事例がよく知られている。一つはヴァレー病 (Valley disease) とよばれ、ミナス・ジェライス州の「ステイル・ヴァレー (Steel Valley)」地方に植えられたユーカリが枯れていくものである。もう一つは木枯れ病 (tree die-back) で、これはサンパウロ州クバタン市の石油精製の影響で、主に大西洋森林のいくつかの地方で見られる事例である。どちらの場合にも、こうした環境ストレスに感染しやすい種と、反対に抵抗性あるいは耐性のある種が見られる。このように異なった挙動があるということは、自然界の淘汰現象によって、中期的には感染しやすい個体は消滅していくことを示唆している。

種の絶滅という危機とともに、耐性の高い個体が適応

のプロセスを踏んでいく結果、将来、影響が予想もつかないような変異のプロセスに至るのではないかと懸念がある。たとえば直接的な結果の一つとして繁殖力の低下が、確実に生じるだろうが、これはさらに大きな影響力をもつものである。内部器官の膜の破壊 (Kraupenbauer, 1988; Halbwachs, 1989) は光合成のような生理学的な現象にだけでなく、形態学的なところにも影響が検出される。そして前に、細胞内の物質代謝の妨害を引き起こす。もし環境ストレスが直接的に光合成速度を低下させ、あるいは間接的に光合成器官の構造に変化をもたらすのであれば、それは結局個体の成長に確実に影響を与えるだろう。この仮説は、森林の生産力の低下に対する警告として考慮されなければならない。環境のコントロールに關して厳しく段階を踏んでいかなければ、森林破壊のスピードは速まり、汚染は危機的レベルまで増大し、生産力と生産面積の減少が見通される。

生物の多様性を保護していくための実際的な戦略は、次のような原理に基づくべきであろう。すなわち、環境的ストレスは地域的、国家的、地球的問題であるが、そ

の起こりはきわめて時間的に限定されたものである。したがって、行動を起こすときに最も重要な要素は、勇気である。多くの事例において、地域的な影響をもたらす環境の汚染なり破壊の問題は、その地方に特徴的な産業によって引き起こされることが多く、そのため、生命の質を維持するために生産プロセスを改造するにはかなりの勇気を必要とするのである。

短期間でおこなう戦略としては、汚染の制御、エネルギー消費の抑制、そして胚原質（種子）の保護である。この二つの第一段階は相互に関連しており、また自動車における触媒のような現代的方法を応用することも、ならんかの汚染抑制に資するところがあるであろう。太陽エネルギー、あるいは風力エネルギーのような代替エネルギーは、南半球の国々に見込みがある。すなわち、日射にせよ、気流にせよ、南半球の方がより適しているからである。原子力エネルギーも、その安全性に関する議論はさておき、クリーンなエネルギー源である。急を要するのは種子の保護である。潜在的な繁殖能力をもつ種子を子孫のために保護することは、少なくとも我々の世

代の義務である。種の絶滅の危険性や突然変異剤の作用のことを考えれば、生物の多様性の維持を保証するため、この方法が重要であることは理解されるであろう。

科学的研究に基づいた中期的な戦略は、生物圏における変化、およびその変化がもたらした動植物に対する影響の早期発見と、そしてより一層耐性のある種の調査である。シミュレーションモデルを用いた最近の生態学研究においては、あるストレスによってどのような環境的变化が引き起こされるかを正確に予測することができ、八〇年代を通じて研究されていたのは、環境ストレスが生物に与える影響であった。ここにおいても、シミュレーションモデルは、生物とストレスとなる環境との相互作用を解析する優れたツールとして役立つのである。このような研究によってすぐに得られる結果は、どの種が抵抗力や耐性をもつかを特定することである。しかし、こうしたやり方には遺伝子の多様性を縮小してしまうようなクローンや種を広範囲に流布することで、生物の多様性を失わせてしまうという潜在的な危険が伴うのである。

たとえどんなに効果的に見える戦略でも、人間の行動の変化が伴わなければ、長期にわたって耐えうるほどの効果的なものであり得ない。そこで、同じく中期的な戦略であるけれども、問題群の社会的諸相にその基礎を置き、個々人が環境問題と取り組むような内面的な動機づけをするような戦略が提案される。

池田氏はハーヴァード大学におけるスピーチ (Ikeda, 1986) において、軍事力、政治的権威、富といった形の「ハードパワー」が衰退し、それにかわって知識、情報、文化、思想、そしてシステムなどを基礎にした「ソフトパワー」が台頭してくることを指摘した。池田氏は、軍事力だけでは全く解決できなかったペルシャ湾岸戦争に言及して、この傾向を証明している。そこでは、国連（一種のシステム）や国際世論が「ソフトパワー」として平和の回復に活躍した。個人レベルにおいて、彼は「ソフトパワー」の時代を開く重要な鍵として「内発的意志」を提唱している。強制されるからではなく、自発的に自らの意志で行うため、「内発的意志」は確実に責任を伴った自己抑制をもたらすのである。この「内発的意志」

の具体的な例として、サンパウロやクリチバのようないくつかの大都市でおこなわれているゴミのリサイクル計画が挙げられる。テレビを通じて引き起こされた良心の発露が、ここでは成功している。大部分の人は自発的に、家庭ゴミをリサイクルできるものできないものに分別している。

先にも述べたように、都市のゴミ問題は、大都市などにおいては、世界的な大問題の一つになっている。大都市周辺のスラムにあるゴミの除去は、行政の大きな悩みである。周辺地区のゴミ輸送という問題を抱えていたクリチバ市においては、地方自治体を中心として「ゴミではないゴミ」という名の計画を展開していった。もともとこの都市では、ゴミ輸送を公共事業としてできるほどのトラックも輸送費用も不足していた。この「ゴミではないゴミ」計画は、ゴミを市民にとって日常的に重要なちよつとした品物、例えば公共輸送機関の乗車券や食物と交換することを基本にしている。最下層のスラムから、市民たちはきちんと分別した家庭ゴミを持ち出し、中心となる特定の集積地にまでそれ運び、そこでちよつと

した品物と交換してもらおうのである。このような段階を経て、いまではスラムのゴミを集めることも行政上可能になり、市民達は満足し、スラムもきれいになってきている。この事例に見られる「内発的意志」は生き残りのための個人にとっての必要性であり、それが環境浄化のために自発的な参加を個人に促したといえよう。

このような「内発的意志」を基礎とした自発的な参加は、市民と行政の間に相互の信頼と責任があった場合のみ達成可能なものである。「ソフトパワー」の時代とは単なる期待ではない。人間の行動の偽りのない変化が達成されたとき、生命の質の維持を伴った調和のある発展と人間の進歩は、実現可能なシナリオになるのである。

文献

- Campos J.C. and Landgraf P.R.C. (1990) Análise da cobertura florestal das bacias hidrográficas dos Rios Cabo Verde e Machado no sul de Minas. In: *Anais do VI Cong. Flor. Bras. Vol. 3, 111-117*
- Cooper M.A., Inoue M.T. and Araujo A.J. (1990) O homem e o

meio ambiente: a proteção ambiental. *Tercera Civilização* 258, 32-39.

Eamus D., Barnes J. D., Mortesen L., Ropoulsen H. and Davison A.W. (1989) A delayed effect of ozone fumigation on photosynthesis of Norway Spruce. *Annals des Sc. Forest.* 46, 568-572.

Halbwachs G. (1989) Physiological responses to air pollution. *Annals des Sc. Forest.* 46, 536-542.

Ikeda D. (1992) A era do soft-power e da filosofia da motivação interna. *Tercera Civilização* 81, 31-37.

Inoue M.T., Reissmann C. B., Wandenbruck A., Mores M. and Coneglian S. (1990) Efeitos da poluição na fotossíntese, conteúdo de ferro e cobre e dimensões das folhas de alenteiro (*Ligustrum lucidum*) da arborização de Curitiba, PR. In: *Anais do III Encontro Nac. sobre Arborização Urbana*, Curitiba, FUPEF do Paraná, p. 170-180.

Inoue M. T. and Coneglian S. J. G. (1991) A poluição urbana e seus efeitos sobre o conteúdo de clorofila em *Ligustrum lucidum* da arborização de Curitiba, PR. In: *III Cong. Bra. de Fisiologia Vegetal*, Viçosa, MG, Soc. Bra. Fisiol. Veg.

Inoue M.T., Wandenbruck A. and Mores M. (1992) Plants indicators de poluição ambiental: uma abordagem metodológica exemplificada em *Tadebua chrysotricha*. In: *II Cong. Nac. Essências Nativas*. São Paulo, Instituto

Florestal.

Krapfenbauer A. (1988) Emissões gasosas e seus efeitos para as florestas. In: *Seminário sobre emissões*. Monte Alegre, PR, Klabin do Paraná.

Krapfenbauer A. (1990) Ozon-ein wachsendes Problem. In: *Seminar des Pädagogischen Inst. des Landes Tirol*. Austria.

Lunz H. and Pereira V. F. G. (1990) Desmatamento e uso atual da terra no Estado do Acre. In: *Anais do VI Cong. Flor. Bras. Vol. 2, 251-256*.

Mattos I. F. A. and Matsukura C. K. (1990) Mapeamento evolutivo da vegetação da Serra do Mar, Cubatão, SP. In: *Anais do VI Cong. Flor. Bras. Vol. 3, 330-343*.

Mooney A. A., Votousek P.M. and Matson P. A. (1987) Exchange of materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere. *Science* 238, 926-932.

Rodejain C. V., Kuniyoshi Y. S. and Struminski E. (1990) A influência no ambiente da Serra da Batata, Mun. de Quatro Barras, PR. In: *Anais do VI Cong. Flor. Bras. Vol. 3, 260-268*.

Schneider B.U., Kaupenjohann M. and Zech W. (1989) Effects of sulfuric acid and nitrogen deposition on mineral nutrition of *Picea abies*. *Annales des Sc. Forest.* 46, 599-603.

Schuurmans C. G. E. (1989) Changes in the atmospheric

compositions and climate. In: *Atmospheric Ozone Research and Policy Implications*. Elsevier Science Publishers B. V.

Taylor G., Dobson M. C. and Freer-Smith P. H. (1989) Changes of partitioning and increased root lengths of spruce and beech exposed to ambient pollution concentrations in southern England. *Annals des Sc. Forest.* 46, 573-576.

Van Elsacker P. and Impens I. (1989) Response of shoot growth and gas exchange of *Picea abies* clones to rain acidity and the addition of ions. *Annals des Sc. Forest.* 46, 595-598.

Vieira J. D., Diniz A. S. and Dário F. R. (1990) Recomposição com essências nativas do cerrado. *Anais do VI Cong. Flor. Bras. Vol. 3, 226-232*.

(レリホ・タカオ・イノウエ) ブラジル・パラナ連邦大学教授
創価大学・自然環境研究センター研究員
(ヤシロウ・ジロウ・イノウエ) 創価大学助教授
東洋哲学研究所研究員

(本稿は「一九九二年三月に行なわれたブラジル・サンパウロにおける『原生種に関するブラジル会議』での講演原稿である。')