



平成14年度（第11回）ブループラネット賞  
受賞者記念講演会

---

財団法人 旭硝子財団

**THE ASAHI GLASS FOUNDATION**

## 目次

---

### 受賞者紹介

ハロルド・A・ムーニー教授.....	1
--------------------	---

### 記念講演

「魔法使いの弟子（人類）が引き起す、生物界の新たな秩序」.....	3
-----------------------------------	---

### 受賞者紹介

ジェームズ・ガスターヴ・スベス教授 .....	16
-------------------------	----

### 記念講演

「地球環境が悪化する時代に生きてきて」.....	18
--------------------------	----

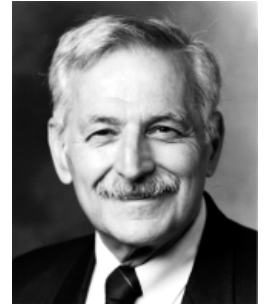
ブループラネット賞.....	25
----------------	----

旭硝子財団の概要.....	27
---------------	----

役員・評議員.....	28
-------------	----

# 受賞者紹介

ハロルド・A・ムーニー教授 (米国)  
Prof. Harold A. Mooney



スタンフォード大学生物学部教授

## ●受賞業績

『植物生理生態学を開拓して、植物生態系が環境から受ける影響を定量的に把握し、その保全に尽力してきた業績』

## ●略歴

1932 6月1日米国カリフォルニアで生まれる  
1957 カリフォルニア大学 Santa Barbara 校卒業  
1960 博士号取得 (デューク大学)  
1960～1968 カリフォルニア大学 Los Angeles 校準教授  
1968～1975 スタンフォード大学準教授  
1975～ 同 教授  
1976～ 同 Paul S. Achilles Professor of  
Environmental Biology  
2000～2003 同 Senior Fellow, by courtesy, Institute for  
International Studies

## ●主な受賞歴等

1961 Ecological Society of America, Mercer Award  
1983 Merit Award, Botanical Society of America  
1990 Ecology Institute Prize for Terrestrial Ecology  
1992 Max Plank Research Award  
1996 Eminent Ecologist Award, Ecological Society of  
America  
2000 Nevada Medal of Science Award

ムーニー教授は、カリフォルニア大学に入学して政治学を専攻しましたが、経済的事情から学業を中断し、南米航路貨物船の船員になりました。航海中に読んだ「米農務省植物実地踏査員」に関する雑誌記事が教授の進路を大きく変えることになりました。子供の頃から植物に強い関心を抱いていた教授は、植物調査と冒険旅行が同時に可能な踏査員という職業に強く惹かれて、植物生態学の講座を設けていたカリフォルニア大学サンタバーバラ校に復学しました。

教授は、1957年にアラスカからロッキー山脈に至る広大な自然に生育する植物 (Arctic-Alpine Plants) について、独自に開発した赤外線ガス分析装置を用いて、光合成と呼吸の動態解析を行ない、植物の生理特性を研究しました。そして植物が局地的な生育環境に、生理特性を適応させてきていることを明らかにしました。

1960年に博士号を取得した後、教授は、同一の厳しい生育条件のもとでは、異なった植物種でも類似の生理特性をもつようになる「収斂進化」について研究しました。地中海性気候で、地理的に離れているカリフォルニア地域、チリー沿海部や地中海沿岸の植物の生態系および生理特性を比較して、「収斂進化」が、それまで判明していた「形態」 (form) にとどまらず、「機能」 (function) にもみられることを見出し、高い評価を得ました。

1970年代には、カリフォルニア地区にある砂漠から山地にいたる植物について、光合成特性や植物体内の異なる機能の部位への炭素源の配分の仕組みを解明しました。植物が炭水化物、窒素分などを獲得し、あるいは分配して養分を貯蔵する場合のコストと、植物にとっての利益について解析を詳細に進め、最小のエネルギー消費で最大の効果を得るような挙動をとることを明らかにして、その後の植物生理生態学の研究に大きなインパクトを与えました。教授は、これらの分野でこれまでに400篇に上る学術論文および著書を発表しています。

1980年代後半には、環境問題科学委員会 (SCOPE) の下、自然の植生にたいする異種の植物種の侵入について、地球規模の評価を世界で初めて行いました。また、国際的な交易が生物侵入種の問題を加速していることを深刻に受け止め、自然科学者と社会科学者との共同研究の必要性を訴え、多くの国際機関をパートナーとする国際プロジェクト “Global Invasive Species Program” を立ち上げました。

教授は近年、特に生物多様性と地球温暖化問題について、エコロジストならびに科学者の世界的なコミュニテ

イやネットワークを構築しています。地球圏—生物圏国際協同研究計画（IGBP）では中心的な役割を務めて、その成果を環境政策に反映するための指導的立場に立っています。また、国際科学会議（ICSU）の幹部として、多くの国際研究計画を推進し、さらに米国生態学会の会長として、国際生物多様性観察年を発案するなど、科学的な課題に対し一般の人々の関心を引き起こすことに努めてきました。そして、人類が存続し続けるのに必要な新しい環境科学の発展のために尽力しています。

## 魔法使いの弟子（人類）が引き起す、生物界の新たな秩序

ハロルド・A・ムーニー教授

この度日本を訪れ、皆様の前で講演できますことを大変名誉に思います。本日は、人類が依存している地球システムの性質と資源の基盤を、私達が根本的に変えているために直面している数々の問題のいくつかについて、話をさせていただきます。ブループラネット賞を創設し、また、地球環境の現状と未来について世界の環境専門家を対象にアンケート調査を毎年実施するなど、環境問題の解決策を熱心に探求する旭硝子財団に対し、多くの方々と一緒に心から謝意を表したいと思います。

本題に入る前に、これから話す内容の基礎になっている私の研究の経歴について少し触れておきたいと思います。

当初の私の研究テーマは、環境に対する植物の生理的な機能の適応性を中心としたものでした。この研究をきっかけとして、私は砂漠や極地から熱帯にいたるまで、世界の主な生態系の多くを調査するようになりました。そこで学生たちと私は、植物がその土地の環境条件にいかに関係に結びついて生態学上適合しているのか、そして、その土地の保有する養分の制約にうまく対処するように進化してきた多数のメカニズムについて学びました。

また、それぞれの生物の進化の歴史がどうであったにせよ、環境条件がさまざまな生物に類似の適応方式をもたらしたことも学びました。具体的には、世界中のお互いに離れた場所でも、類似の気候条件では、収斂進化を通して、生物相に類似の適応が起きているのです。

これらの知見から、植物が養分をいかに利用するのか、その結果として、世界の各地で人間が自然システムを利用する限界が何であるのかについて、私自身進化に基づく制約を評価しました。また、生息地がどのような場所であろうと、植物が養分を獲得し、利用するための普遍的ないくつかのメカニズムがあることも判明したのです。これらを見出すことによって、たとえば水や栄養の不足、捕食者による圧力など、さまざまな環境ストレスの条件の下で、獲得した養分を植物がその茎や葉等へいかに配分するかを予測することが可能になりました。

IBP (IUCN (国際自然保護連合) の国際生物学事業計画) を通じ、国際環境科学に早くから関わり始めたことから、社会に共通して普遍的に重要な問題を認識し解決するために世界中の科学者が協力することが、極めて大きな力を持つことを認識するようになりました。IBP は地球の多様な生態系における一次生産力の限界に焦点を絞り、システム生態学の基礎を築いています。その後、私は SCOPE (環境問題科学委員会) が組織する多くのプログラムに参加することになりました。SCOPE は地球環境の現状を評価し、生じつつある問題に光を当てることを目的とする世界の科学者の集団です。

SCOPE を通じ、火災生態学、この講演の主題である外来種、そして後で簡単に触れますが、生態系の機能とそれが社会に提供するサービスに対して生物多様性が持つ意義など、さまざまな地球全体にわたる問題に携わることになりました。また、他の機会を通じて (主に国際科学会議 (ICSU) )、地球システムの機能と生物多様性の科学に関する地球規模の研究プログラムの立案にも関与するようになりました。これらの活動の全てを通じて強く認識したのは、地球システムの機能に対して人間活動の影響が急速に増大していることと、これらの変化の結果に関して、また、持続可能な生物圏を構築するために私達が採用し、あるいは、追求しなければならない選択肢に関して、すべての人々に教えることが緊急に必要だという事実なのです。

## 演題についての前書き

私達は今、人類全てを支えている生物資源の性質と機能が劇的に変わりつつあるのを目のあたりにしています。生物多様性におけるこのような変化は、生物の遺伝子構造そのものから、ある環境の下での生物の構成に至るまで、あらゆるレベルで起きています。これらの変化の多くは人間にとって有益になるよう意図的に引き起こされていますが、意図せずに偶発的に起きる好ましくない変化もあります。私はこの講演で、現在何が起きているのか、変化を進める要因は何か、変化が社会に与える潜在的な影響は何かについて考えてみたいと思います。また、変化がいかに速く進んでいるのか、そして変化が加速しているがゆえに、好ましくない軌道に踏み込んだことが判明しても、それを修正するための選択肢がいかに限られているかという点に特に注目してみます。生物界の秩序は複雑であり、変化を推進し、そして維持する基盤となる力はまだ十分には解明されていません。このため、人間社会の活動を支えるために、生物界とそれを構成する個々の生物に手を加える際は、慎重に事を進めなければなりません。ここでは、科学者がようやく生物の世界の現状に関する地球規模の総合調査を開始した様子、生物が一部変化してそれが生物界に与えそうな影響、そして望ましい結果へと導くための私達の選択肢について紹介します。

## 魔法使いの弟子

映画史に残る印象的な映画シーンの1つに、「ファンタジア」の中でミッキーマウスが魔法使いの弟子を演じる一コマがあります。ゲーテの詩を下敷きに、ポール・デュカスの音楽に乗って繰り広げられるこのシーンで、魔法使いの弟子のミッキーは魔法使いの留守をいいことに、不思議な帽子の魔力でホウキに呪文をかけ、泉から水を汲み、大きな桶を一杯にする仕事をさせます。途中で眠り込んでしまったミッキーが目覚めると、ホウキは実に能率良く仕事を進め、桶はあふれんばかりに一杯になっていますが、魔法使いのような十分な知識がないミッキーには、ホウキを止めることができません。そこで、ホウキを斧でバラバラに切り刻んでしまいます。ところがそれが悪夢の始まりで、ホウキの断片が次々と自己増殖して新しいホウキが生まれ、水はとどまることなく運び込まれ、大洪水になってしまいます。そこへ魔法使いが帰宅し、呪文を解いてくれたおかげで、ホウキは命を持たないただの物体である元のホウキに戻り、危機は去るのです。

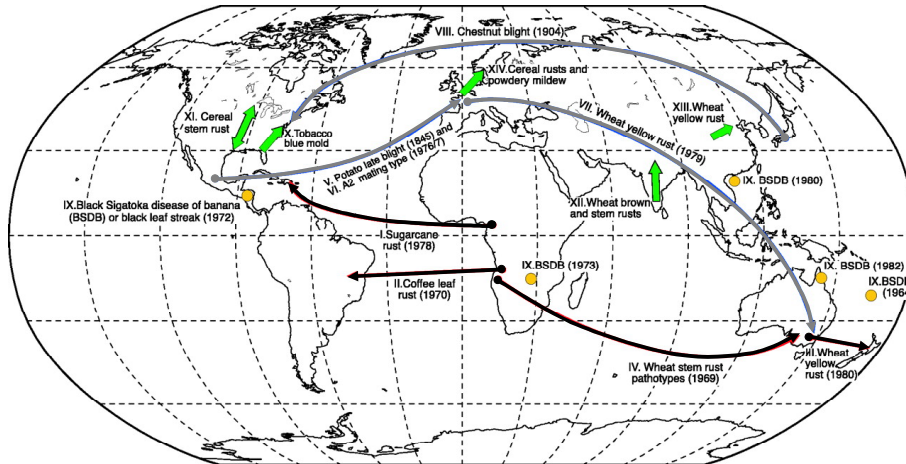
この話の怖いところは、道を踏み外した道具が自己複製し始めるという点です。犯した失敗が、その失敗の複製によって増幅するのです。不完全な知識に基づき失敗を犯した本人は、この増幅する誤りを取り消すことができず、災害につながります。

残念ながら、今日これと全く同じ話が、ミッキーマウスではなく生身の人間により、世界中で繰り返されています。その人たちも、仕事をかたづけるために簡単な方法を探したのです。彼らが呼び出した道具というのは、一見役に立つ特徴を持つ生物ですが、生物なので、すでに自己複製能力を備えています。したがって、失敗を正そうとして生命のない物に自己複製能力を与えてしまい、よけいに失敗を拡大してしまったミッキーの場合よりも、災害を引き起す可能性はさらに身近にあると言えます。

## 生物はいかに大陸間を移動していたか

このような話をしましたのは、生物の分布範囲を超えた移動と、それによって引き起こされる結果——良い結果と悪い結果の両方——という話題につなげるためです。大航海時代以前、大陸間での生物の交流は、海を浮遊するか漂流物に乗り、膨大な距離を横断する旅に耐えて生き残った生物か、または渡り鳥が全くそれと気付かずに運んでしまった小さな種子という例に限られ、これらはごく稀な出来事でした。微生物が風によってかなり距離を運ばれることもあります(図1)。この種子の旅の成功例が稀であることは、大航海時代以前には大陸間で共通する種の数も少なかったことからわかります。

## Long distance transport of pathogens



Black arrow indicate most likely long-distance aerial transport of disease and gray arrows most likely human transport of disease. From Brown and Hovmoller, 2002—see for details.

図1. 病原体の胞子のなかには気流に乗って長距離を移動するものもありますが、外来種が侵入してくる主な原因は、人を介しての故意または偶発的な生物の移動です。図中<sup>1)</sup>の黒い矢印は、最も危惧される病原体の長距離空中移動を示しています。またグレーの矢印は、最も危惧される人を介しての移動を示しています。

### 地球規模で生じた生物の分布域の崩壊

このように異なる種同士が混じり合うことがなかったため、世界の大陸ごとに豊かで独特な生物相が発達しました。進化が進むにつれ、肉食動物とその獲物、草食動物と草、宿主と菌体の間に複雑な相互関係が発達し、その他にも、さまざまな相互の生物学的関係が発達しました。ある種の個体数は、捕食者や病原菌の影響によるだけでなく、類似の生物との競争によって一定に抑えられていました。共進化の力が働くことで、特定の敵に抵抗して生き延びる戦略に加え、あらゆる種類の有毒化学物質など、敵から身を守るための独特の手段が発達しました。

この全てが一変したのは、金やスパイス、ハーブなどの自然資源という直接、間接の経済的報酬を求め、最初の探検家たちが大海原を渡ったときのことです。これらの相互交換は、そもそもの発端から、当初の意図とは別の副産物として、非常に良いものと非常に悪いものの両方を産み落としました。「コロンブスの（新大陸との）遭遇」の結果、トウモロコシ、豆、トマトなどの恒久的な価値を持つ豊かな生物資源がヨーロッパにもたらされました。同時に、この遭遇の副産物として、ヨーロッパからアメリカ大陸に持ち込まれた病気により何百万人ものアメリカインディアンが死亡し、このことが生き残った者たちを隷属状態に追い込む最大の原因になりました。

表1に示すように、今日、生物の交換は大陸間にまたがり、巨大な規模で行われています。

表 1. 植物種の世界的交換の規模<sup>2)-5)</sup>

**A world sampling of the numbers  
of naturalized species**

Region	Plants	Fish	Birds
Europe	721	74	27
California	1023	42	19
Australia	1952	22	32
South Africa	824	20	14
Hawaii	902	19	38
New Zealand	1623	30	36
Japan	1196	13	4

From Vitousek, et al., 1997, Elredge and Miller, 1997, Hobbs and Mooney, 1998. Enomoto, 1999

**新たな魔法使いの弟子—人類**

**善意の結果**

このように、大陸を隔てていた太古から定まっていた個別の生物の分布限界を人間が侵し始めた初期から、良い結果と悪い結果の発生は明らかだったのです。前述の例では、良い結果は「意図した導入」であり、悪い結果は偶発的な導入でした。しかしその後、悪い結果を起こす例が増加し、このような好ましくない例の多くは、意図した導入が当初の予想通りにいかなかったことによるものです。これらは、まさに魔法使いの弟子タイプの例であります。悪意はないのですが、十分な知識や、採用した手段に伴う自己複製因子を制御する能力を持たない人々によって引き起される害です。その例には事欠きません。周辺住民への食糧供給を増やすことを目的として、ビクトリア湖にナイルパーチを放流した例では、それが一連の影響を引き起こし、湖から獲れる食糧は減り、森林破壊が進み、湖は富栄養化し、周辺の生物多様性に決定的な影響を与えました。これ以外にも、オオヒキガエルやマングースなどを用いた生物的防除により、生態系と経済に莫大な被害を与えた例や、クズなどの砂防植物が、その役割は果たしたものの、森林の成長に甚大な被害を与えた例などがあります。<sup>6)7)</sup>

これら善意による行為が誤った方向に進むという問題は、ひとたび行為が定着すると、誤りが自己複製するため、それを正すことはきわめて困難になります。うっかり引き起こされた誤りを、正しい知識を使って取り消してくれる魔法使いはいないでしょう。このため、力づくで矯正しなければならないのですが、我々が自由に使える道具は原始的で、資金がかかり、実際のところあまり効果的ではありません。

このような例で唯一希望が持てる対処方法は、そもそもそのような失敗を起こさないよう、これまでよりもはるかに慎重に事を進めることです。しかし、失敗を繰り返す方向へと突き動かす圧力は強く、次に説明しますようにその圧力はますます強くなる傾向にあります。

**いったん壁がなくなれば事故は起きる**

もちろん、善意による行為が悪い方向へ進む例だけではなく、不慮の事故の発生が増加しているのも心配の種です。誰も意図してゼブラガイを五大湖に放したり（浮力調整用の水袋であるバラストから放出された



水に含まれていた) (図2)、タイワンシロアリを米国に持ち込んだりしたわけではありませんが、どちらの生物も数十億ドル規模の被害を引き起こしています。また、誰も意図してクシクラゲ (*Mnemiopsis leidyi*) を黒海に放したわけではありませんが、この場合もバラスト水から放出されて初めて黒海に姿を現した後、その地域の漁業に壊滅的打撃を与えました。<sup>8)</sup> (図3)

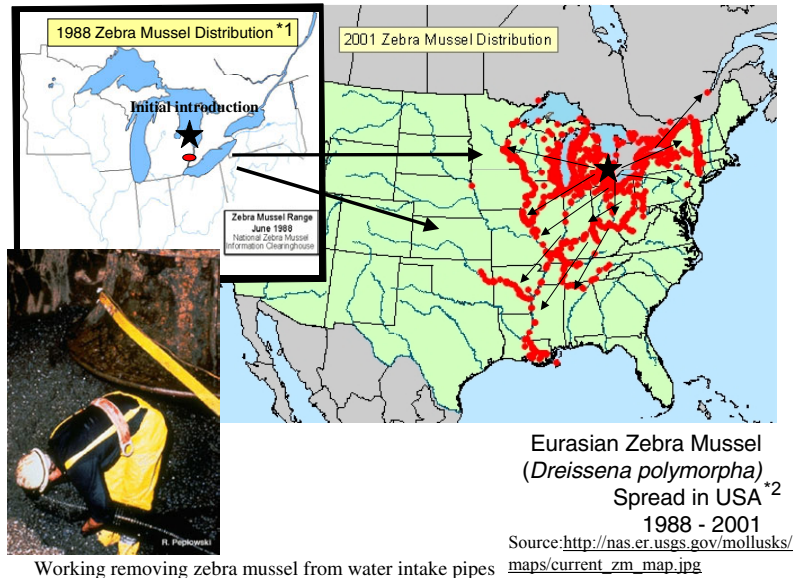
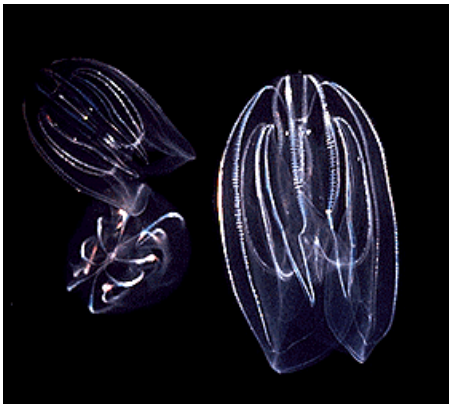


図2. 米国へのゼブラガイの大爆発的な大量侵入  
(資料 : [http://nas.er.usgs.gov/mollusks/maps/current\\_zm\\_map.jpg](http://nas.er.usgs.gov/mollusks/maps/current_zm_map.jpg).)

### The Destruction of a Fishery



In 1982 *Mnemiopsis leidyi*<sup>\*3</sup> invaded the Black Sea evidently as a result of the discharge of ballast water from the United States. This invasion contributed to a sharp decrease in local fisheries (IMO, 1997). A subsequent inadvertent introduction and invasion by a predator of the *Mnemiopsis* is leading to a recovery of the fishery (Kideys, 2002)

図3. 外来種による漁業への甚大な影響<sup>8), 9)</sup>

\*1. ゼブラガイ分布図  
\*2. アメリカに広がるユーラシアゼブラガイ  
\*3. クシクラゲ

分布限界を超えて移動した生物の中で、目的地に到着した後、定着と分布拡大に成功するのはどの種かを予測するには、我々の現在の能力はあまりに不十分で役に立ちません。<sup>10)</sup> ただ確実に把握しているのは、成功した種というのは共進化した有害生物と競争者から逃がれたことによる場合が実に多いという事実です。

意図したものでも偶然でもどちらの事例であれ、導入された外来種が新たに棲み付いた場所で生態系や経済面で破壊を引き起した事例を考えると、新たな生物を意図的に導入する場合には、考慮すべき警戒と共に、不慮の導入を防ぐための境界での防御が必要なことは明らかです。

## 警戒を妨げる力

警戒を妨げる方向に働く力として次のことがあげられます。

### 無知

現代社会に生きる人々は、万人の生命を支える自然という基盤について知ることから離れてゆく傾向があります。人間の活動によって土地に変化が起きた場合の悪影響はもちろんのこと、ある地域に新たな生物を持ち込んだ場合の潜在的な破壊的影響力に対して彼らは気付きません。このため、外来種がもたらす問題は彼ら個人にとって重大事ではなく、したがって、一般市民からの圧力を受けて対応する政治行政機関にとっても優先課題ではないのです。

### 対応能力の不足

膨大な数の外来種により壊滅的影響を受けた国の中には、潜在的な外来種の導入を未然に防ぐ精巧な制度を設けた国があります。これらの制度には大きな経費がかかり、また制度を運営するには高度な訓練を受けた要員も必要になります。しかし、被害をもたらす可能性がある種をとえ一種でも防ぐことができれば、経済的に大きな救済となるため、長い目で見れば費用効果が高いと言えます。外来種がひとたび定着してしまうと、駆除をしたくても、それが不可能になることがあるため、防止は駆除よりも安上がりで効果的であることはすでに実証済みであります。ところが残念なことに、国境に監視システムを設ける経済力や、それらを運営するための熟練要員を、全ての国が備えているわけではありません。その結果、多くの国に外来種に汚染されたスポットが残っていますが、これは国境でより効果的な防除対策が講じられていれば防げた事態です。

### 増大する地球規模の連結

日々国境を越える大陸間輸送媒体（船と飛行機、そしてそれらに乗っている物と人）の数は増え続け、国境での防除はきわめて困難になりました。高度な検査システムを使っても、米国の国境農産物検査所では、毎日到着する貨物のごく一部のサンプリングしか行えません。現在、全世界で 45,000 隻以上の貨物船が登録され、それらが積んでいるバラスト水が、知らず知らずのうちに、原産地から遠く離れた場所に生物を放出しています。毎日、世界中で 7,000 種もの海洋生物がバラスト水に入って輸送されると推定されているのです。<sup>11)</sup>

### 国際貿易の振興

警戒を伴わない貿易。近年、世界貿易機関の働きに現されるように、国際貿易に対する障壁撤廃が大々的に進められています。この積極的な政策の結果、ある国が輸入品の潜在的有害性について懸念を持った場合、その国はその危険性を実証するための危険性評価分析を行わねばならないことになりました。つまり、証拠を提出する責任は、環境被害を引き起こす可能性がある側ではなく、あるいはその貿易によって利益を得る側ではなく、潜在的な犠牲者の側にあり、望ましからざる影響を緩和する費用はその国民が負担するのです。これは、まだ理解が進んでいない状態にある生態系へ介入することによって生ずるであろう潜在的被害から、社会を守るために発達した予防原則という概念に反します。

これほど積極的な国際貿易の振興が始まる以前でさえ、検査対象にならない第一種郵便（書状とはがき）による種子の大陸間取引や、侵入する可能性をもつ伝統的経路による園芸物質の取引などの危険性が常にありました。

制度化され、日常化された国際貿易の振興という潜在的な危険性に加え、インターネットでの広告を通じ、侵入する可能性がある生物の違法取引が行われる動きもあります。

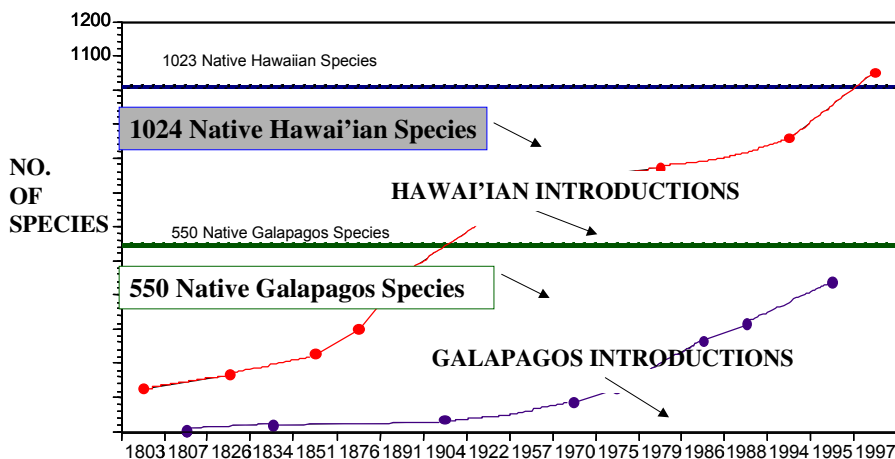
### 警戒を後押しする力

分布限界を越える生物の移動を抑制するように働く力にはどのようなものがあるのでしょうか。生物を、その原産地から別の場所へ移動することに関する条約がいくつかあります。たとえば、主に農産物植物の害虫を対象とする国際植物保護条約（IPPC）、絶滅の危険性がある種の取引を対象とする野生動植物種の国際取引に関する条約（CITES 訳者註：ワシントン条約）などです。生物多様性条約では最近、「導入経路を評価する」旨の決定が採択されましたが、貿易を制限する強制力はありません。

### 国による保護計画

程度はさまざまですが、多くの国と地域が生き物の貿易制限と国境検査を実施しています。ニュージーランドなど、きわめて厳格にそれを実施する国があります。一方、ガラパゴス諸島などの地域は、その特異な生物多様性を護る必要性は明らかであるにもかかわらず、つい最近まで、輸入される生物に対して制約を設けていなかったために、それによって引き起された悲惨な結果を修復することに何百万ドルもの費用を注ぎ込んでいます（図4）。

**The numbers of introductions now match the numbers of native species**



From Eldredge and Miller, 1998, Tye, 2001, and Wester, 1992.

図4. ハワイ及びガラパゴス諸島への植物導入の経緯、今や外来種の数はいずれも在来種と同数に達しています。<sup>12)–14)</sup>

### 新しい生物学がもたらした結果

#### 地球資源の共有

前述のように、国境を越えて生物の交換によって得られる利益は、特に農業、畜産、園芸、漁業分野で莫大な額に上ってきました。貿易がさらに加速し、範囲がさらに拡大するにつれ、一年中どこでも生物商品が

手に入るという点では、利益は拡大する一方です。

### 進化の経路と生態学的相互作用の変化

この便利さは代償を伴い、生物の移動のもつ暗い側面があらわれます。つまり、「魔法使いの弟子」効果によって望ましくない永続的被害を引き起こす生物が放出される潜在的可能性に加え、生態系とその進化の基本的プロセスが乱されるにつれて、暗い側面が拡大されてきます。すでに幅広い分野の論文で報告されているように、新しい生物が新たな地域に入ると、それらは新たな条件に適応するよう進化するだけでなく、影響を受ける在来種の進化の軌道も変えることとなります。新たな雑種が生まれ、在来種が持つ特殊性を呑み込んでゆきます。新たに複雑な食物連鎖が確立され、望ましくない結果を伴わずにそれらの系を維持することはきわめて困難になります（図5）。生態系は絶え間なく変化するものですが、これらの混乱は生態系の性質を根底から変え、生態系を新たな機能を有する状態に導くのです。<sup>15)</sup>

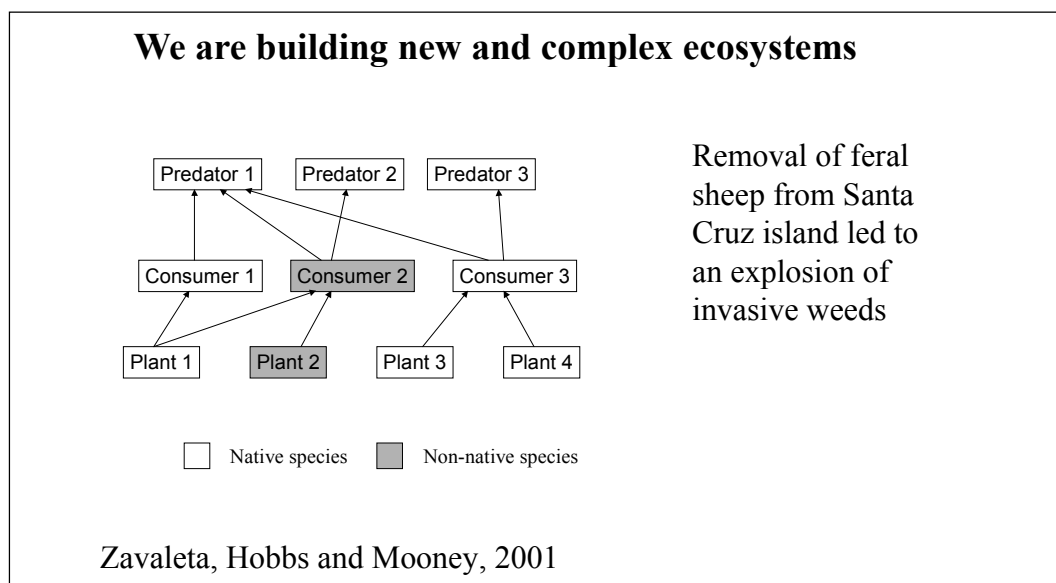


図5. 外来種は生態系に新たな食物連鎖をもたらし、その管理をさらに複雑にしています。1つの外来種を除去すると、別の外来種が爆発的に増殖する恐れがあります。<sup>16)</sup>

### 生態系の働きの促進と妨害

もちろん、生物の意図的な導入により、侵食防止、土壌窒素量の増加、有毒物質の浄化、水質浄化などの人間社会に役立つ事柄に加え、生態系の機能を強化することができます。ゼブラガイのような偶発的導入でさえ、水質浄化などの効果はありますが、残念ながら、在来種の消滅や上水道が詰まるなどの多数の問題を引き起こします。一方、当初は防砂を目的として導入されたクズのように、役に立つ外来種でも、周囲に逸出し、予想外に大きな被害を起こすことがあります。

極めて大きな問題は自然生態系の働きの混乱が起きることであり、実際、世界中で事例には事欠きません（図6）。その多くは莫大な経済的被害を伴い、たとえば、侵入した疫病により重要な森林が壊滅状態に陥り、外来の害虫と病原菌によって作物が被害を受け、有害水生植物が水路を詰まらせ、雑草が増えすぎて季節はずれの大規模な火災が増加し、流域からの水の流出損失が加速して放牧場の生産性が低下したりします。<sup>17)</sup>

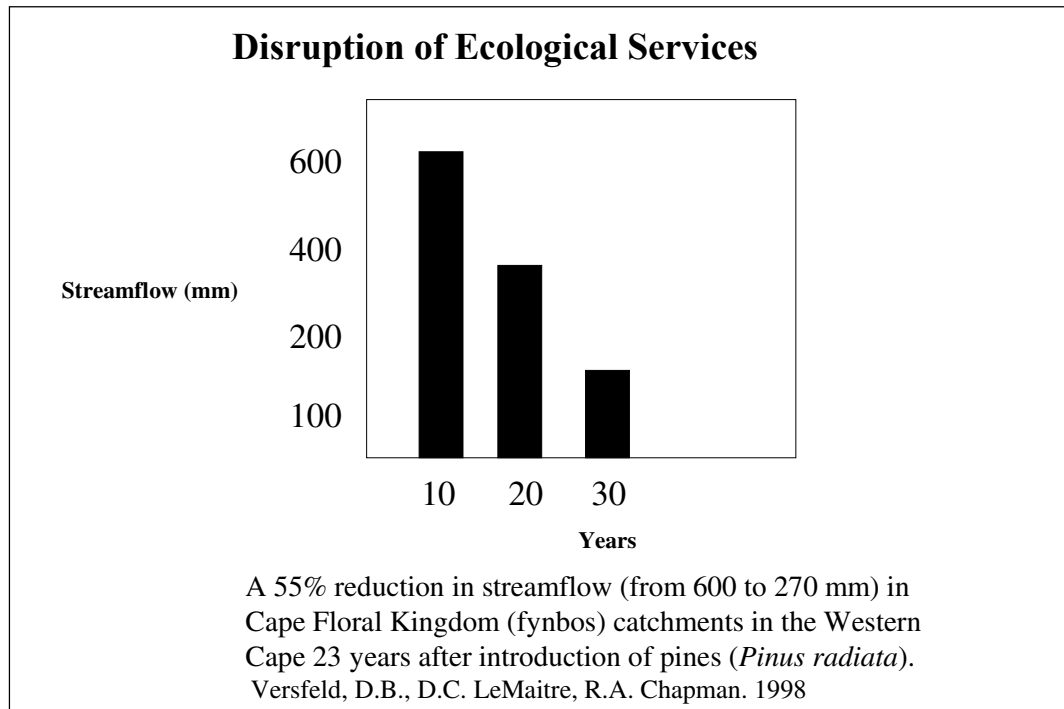


図6. 南アフリカにおけるマツの外来種による生態系の働きの阻害。この導入種によって覆われる面積が増加するにつれて、水の流れは大きく減少しています。<sup>18)</sup>

### 善者、悪者と厄介者 (The Good, the Bad and the Ugly)

生物が世界中を移動することから私達が学んだことは、大きな恩恵と富を獲得する一方で、大きな被害と経済的損失が発生したという事実であります。これは自然生態系に人が手を加えるという、より大きな問題の一部にすぎません。食糧と衣料の生産、洪水と火災のある程度の防止など、生態系に手を加えることによって多大な恩恵が得られますが、同時に、それらの系で根本的な変化が起こり、生物多様性の低下や消滅、表土の消失など、長期的な持続可能性が脅かされるのです。自然の秩序が変貌した状態をどう評価するかは、それを見る人とその人の利害関係によって異なり、ごく短期間しか考慮しないこともあるため、昔の映画「続・夕日のガンマン」(原題: The Good, the Bad and the Ugly)の登場人物のように、善し悪しの見分けがつかないことがあります。社会のある部分にとって都合の良いことも、別の部分にとっては困った問題かもしれませぬ。しかし、ここから先で展開する議論のポイントは、自然資源の有用性という観点に立って善し悪しを見分けようとする解析は、しばしば不完全なものになるということです。そのような解析では、単一の資源の変化を他の資源に起きている変化から引き離して考えるため、総合的な純得失——つまり善し悪し——は感知できないからです。したがって、資源管理に関する指針としての効力は持たないのです。

### 無知と闇夜の作業の危険性

ここまで語ってきた内容は、私達が種や生態系の一部を消滅させているだけでなく、存在しなかった場所に新たな種を追加することにより、何千年もかけて進化してきた生物の世界の性質そのものを根本から変えているということです。それに加え、意図せずに栄養物を追加するなど<sup>19)</sup>、生態系の働きを推進する駆動力に大幅な変化を加えています。これらの変化が、人口を養い持続するための生態系の包容力に対し、プラスとマイナス両面にわたり、極めて大きな影響を与えることは、すでに明らかにされています。その一方で、共進化する生物を含んだ生態系がどのように機能するかに関し、我々にはあまり知識がなく、ましてや意図

的にせよ偶発的にせよ、新たな構成要素が加わった状況に生態系がどう反応するかについては、ほとんどわかっていません。最も基本的レベルでは、地球上に存在する無数の種の記載さえ完全ではなく、また、その作業のあまりの膨大さと技術力の不足により、従来の方法でそれを行える可能性があるのかどうかさえわかっていないのです。大型のほ乳類と鳥類を除き、危機に瀕している生物の数について、また、それらの個体数と分布域がどのように変化しているかについて、説明する能力は私達にはありません。さらに、生態系の中で種が果たす役割も、最も一般的な形でしか把握していません。たとえば前述のように、多数の種に関し、それを取り除くかあるいは追加した場合、生態系の働きにどのような影響が生じるのかを論理的に予測できないことがしばしばです。よく害虫の異常発生という不意打ちを受けます。つまり、自然にまたは人為的に引き起こされた混乱に対する生態系の反応が非線形的であるなど、生態系が持つ全般的な複雑さに、基本的知識の不足が加わり、生態学者は驚きに満ちた日々を送っています。このような知識を得ることができないわけではありません。ただ、それを得ることが困難であり、知識の獲得は多くの国で優先度の高い課題に上ってこなかったのです。知識の獲得には多くの科学者と時間と資金が必要です。前述のように、これらの事項に対して、私達は、焦点を定めることも解析することも欠いているばかりでなく、問題と取り組む能力をも失おうとしています。一般社会が分子工学などの最新技術が約束する未来に関心を移すにつれ、植物と動物両方が係わるという分野は無視され、生態系の構成要素を識別するだけでなく、それらの要素の機能を研究する能力も、人間社会から失われようとしているのです。

我々は健康のためには巨額を投じるが、人の暮らしと健康の源泉である生態系の基盤について学ぶことには資金を惜しみます。たとえば科学にかなりの資金を費やす国である米国でも、90%以上が自然資源や環境関連ではなく、人の健康に関する研究開発に費やされます。基礎研究のみに絞ると、この割合はさらに片寄ります。<sup>20)</sup>

生態系に手を加えるという提案に対処するにあたり、生態学者が直ちに予防原則を取り入れたのは当然のことです。生態学者は変化を止めようとしているわけではありません。単に、その結果について高い確実性を持つ知識を提示する能力がなく、しかも生態系の複雑な性質を考えると、そのような知識の完全な獲得は不可能かもしれないからです。炭素の海への取込み量を上げるために海を肥沃化するという提案に、生態学者らが懸念を示すのはなぜでしょう。また、生きた生物を無制限に自由に取り引きすることに懸念を示すのはなぜでしょう。その主な理由は、これらの行為による結果を完全に予測することができないので、そのため、提案された長期にわたる恩恵の実現について自信を持ってないということです。

## 目今の課題一闇を払いのける

自然界を理解し、より良く管理するために必要な情報を獲得するという仕事は難題なので、気が遠くなります。しかし、生物間の相互関係が編み出す働きと、人間社会が依存する物品とサービスを提供する生態系の包容力に関し、どの程度の知識が得られているかという現状を評価する活動に本腰を入れ始めたことは心強く感じます。これはすでに遅きに失した感のある動きであり、現に最近、あまりに知識が乏しいため、我々はいわば「五里霧中」状態で環境に関する決定を下してきたことが指摘されました。しかしながら、総合系としての地球の基本的な働き——どのように大気は地球と相互作用しているのか、どのように地球の気候システムは生物地球化学的循環と相互作用を持ち制御されているのか——を理解する上で、過去 20 年間に飛躍的進歩が見られました。この情報は、人類の活動が地球の気候変動に及ぼす潜在的影響を評価するために不可欠でした。しかしながら、これらの気候変動や、これよりずっと少ない他の地球規模の変動が、時間と空間の観点から生態系の作用に与える影響を完全に理解するという能力を、私達は今のところ身に付けていません。この情報を得るためには、生態系の構成要素に関して、それらが全体として機能することの相互作用、生態系に外乱が生じた場合の応答などについての包括的な評価が必要です。現在、この情報が集ま

りつつあります。過去 10 年間に、生態系の機能において生物多様性が果たす役割を把握するための研究が各地で実施され、人間社会が依存する物品を提供する生態系の機能に関して理解も進みました。<sup>21)</sup> そこで、現在の課題は、生態系の機能とサービスに関する情報をまとめて、この情報と、これらのサービスを提供する生態系の基本的包容力を人がどう変えようとしているかということとを関連づけることです。

現在、大規模な科学者集団が「ミレニアム生態系アセスメント」という科学的な解析計画に携わっています。これは地球の自然資源の総合評価と、それがいかに変化してきたのか、そして地球の歴史の中で進化してきた複雑なシステムの長期的な持続可能性に対して、その変化がどのような代償を伴ったのかを評価する試みです。<sup>22)</sup> (図 7) 私達人類を支える生物圏の性質はいかなるものでしょうか。複雑な生物社会を理解し、それを複製する能力が私達には欠けていることをあからさまに示す単純な例として、わずか 8 人の小集団の維持に必要な食糧と飲料水などを生態系が供給する閉鎖系の自己充足型生物圏を作るといふ、多額の資金をかけた巧妙な試みが実施されました。その結果はよく知られていますが、多額のエネルギー補助が出たにもかかわらず、望ましい生産的な形で目標を達成できるように、この人工の生物集団の活動を維持するには、私達の持つ知識の基盤はあまりに不十分でした。この実験において時間の経過と共に、大気の組成は人にとって危険な状態になり、侵略的なツル植物と受粉媒介者の絶滅により食用植物は脅かされ、水供給系は富栄養化しました。<sup>23)</sup> 要するに、自然界から人間が無料で受けているサービス全てが、人工生物圏では損なわれてしまったのです。

### The Millennium Assessment-the quest for a deeper understanding of human impacts on ecosystems

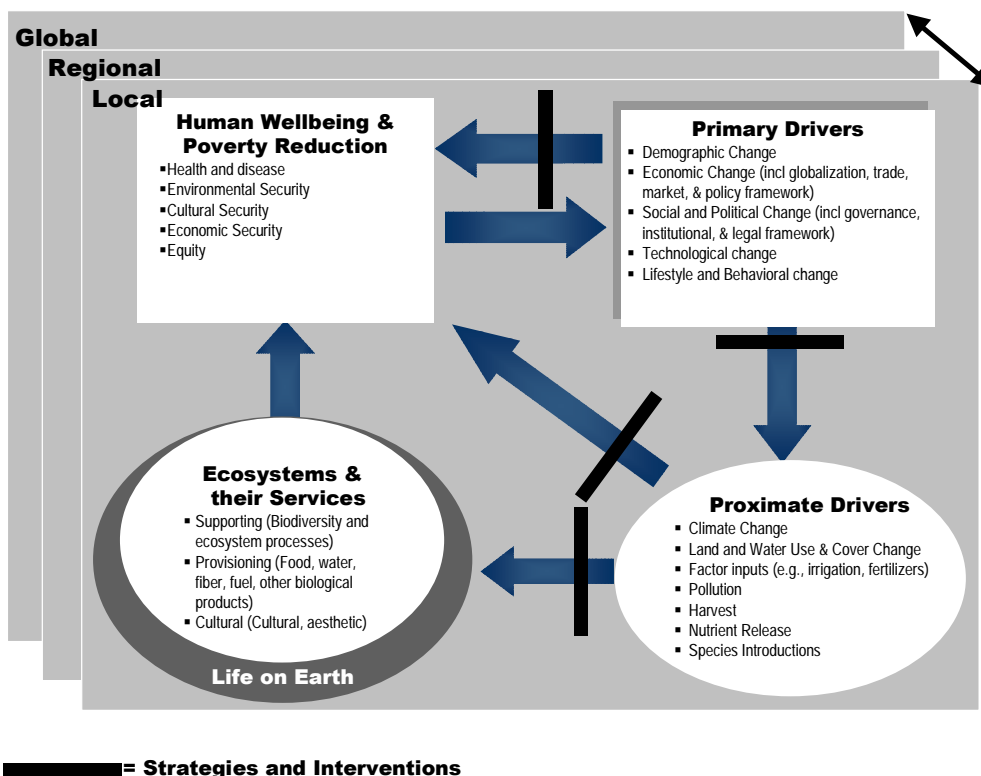


図 7. 進行中のミレニアム生態系アセスメントの概念的枠組み

## ミレニアム・アセスメント

### 知識の蓄積と関連づけ

「ミレニアム・アセスメント (MA)」では、世界の主要生態系の状態と、その生態系が資源を提供する可能性に関して、知識を集積していきます。MA は、全ての機能を同時に考慮するという点で、他のアセスメントとは異なります。他のアセスメントでは、水、森林、農産物などの単一資源しか考慮せず、したがって各種の物質や機能を提供するための資源利用におけるトレードオフを評価する能力を持っていないからです。このプロジェクトでは、21 世紀初頭における地球の生態系の状態に関し、可能な限り定量的な全体像を導くことにより、今後のアセスメントで地球資源の管理における進歩の度合いを評価できるようにします。

MA では生態系の機能の変化、つまり物品やサービスの供給における変化を起こす要因を調べます。土地利用パターンの変化や気候変動などの差し迫った変化要因だけでなく、各種の経済的・制度的要因や人口変動などの最も基本的な変化要因も検討します。

このような包括的評価を実施するために、世界中の専門家がこの巨大プロジェクトに協力することになっています。自然科学者と社会科学者の間に新たな協力体制を築くことにより、生物資本を利用するために社会が何をトレードオフしているかだけでなく、全体論的な見地から、それから派生し、または失われる便益に関しても、新たな総合的理解を得ることができるはずです。

自然資源利用の歴史的傾向を検討し、それらの傾向に基づき予測を行います。しかし、意外なことが次々と起きる世界では、過去の傾向をそのまま未来に当てはめて推測しようとする誤謬につながる可能性があります。このため、各種の意外性を組み込んだ異なる種類のシナリオを作ります。

MA は一定の社会状況における最良の事例を評価するために再び過去に注目して、これまで資源利用問題の解決を目的として、どのような経済・社会・制度上のメカニズムが利用されてきたかを検討します。これらの解析から、導かれる傾向とそのシナリオに対するさまざまな対応の選択肢を列挙することができます。

MA は、グローバルな評価と共に、選択した局所的な場所と地域にこれらの対応策を応用して、その政策担当者にとって役立つ詳細な情報を提供することができるという重要かつ貴重な側面を持っています。

生態系とそのもてる可能性に関し、包括的で地球的な、同時に地域的な評価を行うこの最初の試みにより、生態系の構成要素がどのように作用するのか、そして人類が依存する資源を生態系がいかに供給するのかに関して、私達の知識を覆う闇を払いのける作業をスピードアップできるはずです。重要な点として、私達がそれらのサービスをいかに強化あるいは弱体化しているか、また、数々の状況の中で私達にとって貴重な意味を持つ生態系プロセスを維持するために、より包括的な方法で上手に生態系を管理するにはどうすればよいのかを、これまでよりも正しく評価できるはずです。そして、この知識を利用して、新たな生物界において私達がとる選択が、持続可能性に対していかなる結果をもたらすかをよりよく認識できることが望ましいのです。私達全員の中に住みついている魔法使いの弟子に、魔法使いのような賢い知恵を授けることが必要です。

## 結 び

私達の科学技術は、複雑な生態系を作り上げ、再構成し、維持するという目的に対しては、まだ原始的レベルにとどまっていますが、それにもかかわらず、社会を構築する基盤であり、人がそのサービスに依存する生態系を、私達は大規模に破壊し、衰退させる行為をいまだに続けています。人類を維持する自然の生態系および管理された生態系を維持していくために必要なことを、十分に評価し、理解することが重要です。増え続ける人口と生態系を変える能力の増大により、これら生態系のサービスが急速に変貌しつつある今、私達の仕事は緊急を要するのです。

ありがとうございました。



## 参考文献

1. Brown, J.K.M. and M.S. Hovmoller, *Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease*. Science, 2002. **297**: p. 537-541.
2. Vitousek, P.M., et al., *Introduced species: A significant component of human-caused global change*. New Zealand Journal of Ecology, 1997. **21**(1): p. 1-16.
3. Eldredge, L.G. and S.E. Miller, *Numbers of Hawaiian species: Supplement 2, including a review of freshwater invertebrates*. Bishop Museum Occasional Papers, 1997. **48**: p. 3-22.
4. Hobbs, R.J. and H.A. Mooney, *Broadening the extinction debate: Population deletions and additions in California and Western Australia*. Conservation Biology, 1998. **12**(2): p. 271-283.
5. Enomoto, T., *Naturalized weeds from foreign countries into Japan*, in *Biological Invasions of Ecosystem by Pests and Beneficial Organisms*, E. Yano, et al., Editors. 1999, National Institute of Agro-Environmental Sciences: Tsukuba, Japan. p. 1-14.
6. Bright, C., *Life Out of Bounds*. 1998, New York: W. W. Norton. 287.
7. Baskin, Y., *A Plague of Rats and Rubber Vines*. 2002, Washington, DC: Island Press. 377.
8. IMO, *Opportunistic settlers and the problem of the Ctenophore Mnemiopsis leidyi invasion in the Black Sea*. 1997: London.
9. Kideys, A.E., *Fall and rise of the Black Sea ecosystem*. Science, 2001. **297**: p. 1482-1484.
10. NRC, *Predicting Invasions of Nonindigenous Plants and Plant Pests*. 2002. 198.
11. Carlton, J.T., *Introduced Species in the U.S. Coastal Waters: Environmental Impacts and Management Priorities*. 2001, Arlington, Virginia: Pew Oceans Commission. 28.
12. Eldredge, L.G. and S.E. Miller, *Numbers of Hawaiian species: Supplement 3. with notes on fossil species*. Bishop Museum Occasional Papers, 1998. **55**: p. 4-15.
13. Tye, A., *Rising numbers of Introduced Plant Species in Galápagos*. 2001, Galápagos Report 2000-2001, Fundación Natura – WWF. p. 94-95.
14. Wester, L., *Origin and distribution of adventive alien flowering plants in Hawai'i*, in *Alien plant invasions in native ecosystems of Hawai'i: management and research*, C.P. Stone, C.W. Smith, and J.T. Tunison, Editors. 1992, University of Hawaii Press: Honolulu. p. 99-154.
15. Mooney, H.A. and E.E. Cleland, *The evolutionary impact of invasive species*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2001. **98**: p. 5446-5451.
16. Zavaleta, E.S., Hobbs, R.J. and Mooney, H.A., *Maximizing the benefits of eradication: Why invasive species removal should be viewed in a whole-ecosystem context*. Trends in Ecology and Evolution, 2001. **16**: p. 454-459.
17. Mooney, H.A., *Invasive alien species-the nature of the problem*, in *Invasive Alien Species: Search for Solutions*, H.A. Mooney, et al., Editors. in press, Island Press: Washington, D.C.
18. Versfeld, D.B., R.A. LeMaitre, and R.A. Chapman, *Alien invading plants and water resources in South Africa: A preliminary assessment*. 1998, CSIR Division of Water and Environment Technology, CSIR Environmentek: Stellenbosch.
19. Vitousek, P.M., et al., *Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences*. Ecological Applications, 1997. **7**: p. 737-750.
20. NSF, *Science and Engineering Indicators-2002*. 2002, National Science Foundation: Arlington, Virginia.
21. Mooney, H.A., et al., eds. *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. 1996, John Wiley: Chichester.
22. Ayensu, E., et al., *Ecology : International ecosystem assessment*. Science, 1999. **286**: p. 685-686.
23. Cohen, J.E. and D. Tilman, *Biosphere 2 and biodiversity: The lessons so far*. Science (Washington DC), 1996. **274**(5290): p. 1150-1151.