

司会 JFEJ では本年度、地球環境基金から助成を受け、「生態系サービスの報道手法に関する研究とセミナー」という事業を行います。その第 1 段階として、生態系サービスの定着に欠かせない環境経済学者（自然の経済的価値を金銭的に評価し、政策のベースとなる資料として提示できる研究者）をアクターとして組織するための研究・勉強会として開催することになり、今日はその第 1 回目の研究者として、生物多様性と報道手法の研究をされている、東北大学の中静先生に来ていただきました。

先生はもともと森林ご専門なのですが、生物多様性ということでいろいろなところで活躍されていますのでご存知の方も多いかと思います。今日は、幅広い分野のお話しが聞けると思います。生態系サービスの話も詳しいですし、そこから始まってくる経済価値のことも研究されています。

今度の東北大震災では、かなりいろんな被害を受けましたが、その現地の様子も回ってごらんになっていらっしゃる、今、復興プロジェクトを立ち上げて東北大学の方でもやっておりますので、そちらのほうの話も今日は伺えるのではないかと期待しております。

また、今日は中静先生と一緒に活動されています東北大学の竹本徳子先生にもこちらに来ていただいております。中静先生は 8 時に所用で退席されるということなのですが、もしその後で何かご質問などありましたら竹本先生にお答えいただけたと思います。では、よろしくお願い致します。

中静透 こんにちは。中静です。今ご紹介があったように、もともとは植物といいますか、森林生態学ということでやっていまして、ボルネオ島の熱帯林とか、日本のブナ林とか、そういう研究をずっとしていました。2001 年に総合地球環境学研究所が京都にできて、そこで 5 年間研究プロジェクトをやっていました。この地球研というのは普通の研究所と少し違って、地球環境問題の研究所なのだけでも、地球環境問題は自然科学だけでは解決できないので、社会科学とか、人文科学の人たちと一緒にプロジェクトを組みなさい、ということになっています。そこで私がやったのが生物多様性のプロジェクトだったので。

2001 年から 2006 年くらいまでやっていたのですが、そのプロジェクトの中で、経済学の人と一緒にやったり、社会学の方と一緒にやったりし、その中で、今日のお話に出てきます「生態系サービス」ということが一体どういうものなのかということをいろいろやりました。プロジェクトの中では、生物多様性というのを普通の人にもわかるように、特に大学の教養の授業に使えるようにスライド集を作るといようなこともしたのですが、そういうことをいろいろやりながら生態系サービスと生物多様性の問題を考えてきました。

そして東北大に移り、引き続き分野融合的な研究をやっていこうと考えていたのですが、ちょうどその時に文部科学省がグローバル COE という大学院の教育制度を始めました。

その中の複合領域で、私たちの生態適応の教育研究で予算をいただくことができました。それで竹本徳子さんに来ていただいて、企業の方とか自治体の方とか、いろいろな分野の人と一緒に、生物多様性の問題や生態系の管理の問題を考えていこうということをやらせていただいています。

今日の話は「生態系サービスの評価と課題」というタイトルで、サブタイトルが「震災地の生態系サービス復興の視点から」ということです。前半は生態系サービスの評価と、その問題点のことを話させていただきまして、最後に震災復興と生態系サービスの話に持っていきたいと考えています。本当は生態系サービスというよりは、むしろ生物多様性と震災復興という話をしたいのです。今年の COP10 で生物多様性をあれだけ盛り上がっておきながら、震災があった 3 月 11 日以降、生物多様性の話題がすっ飛んでしまったというふうに感じておられる方や、何かできることはないかと考えていらっしゃる方がたくさんいます。その中で、生物多様性の問題と震災復興という問題をどういうふうに考えていけばいいのかということを、私なりに感じたり、考えたり、考えさせていただいたりしたものですから、そういう話も少しさせていただきたいと思っています。

この図は皆さんもおそらくご存知だと思いますが、ミレニアム生態系アセスメント（ミレニアム・エコシステム・アセスメント）という、いわゆる MA とか、MEA と略しているものですが、その中で生態系サービスというものを四つに分類した図です（<http://www.millenniumassessment.org/en/about.slideshow.aspx> に加筆）。



色は考えないで見ていただくと、支持基盤サービス（サポーティングサービス）はほとんど生態系が本来持っている、生態系機能と言い換えてもいいくらいのもものなのですが、土壌形成や一次生産、栄養塩の循環とかということ、人間への利益直接の関係が薄いサービスです。

主に人間に役立ってくるのは、上にある 3 つのサービスで、一つは供給サービスです。まず、モノを供給してくれるサービス。食糧とか水とか、燃料、繊維、あるいは化学物質とか遺伝物質、遺伝資源といったようなものです。

2 つ目は調節サービス。これはモノではないのですが、例えば森林があると気候が穏やかになるとか、それからいろいろな生物がたくさんいると病気をコントロールしてくれるとか、あるいは森林があると洪水を防ぐとか、川の中に物を流しても流れているうちに綺麗になっていくというようなことが、この調節サービスです。

最後が文化的なサービスで、精神性、信仰のようなものを含みます。また、レクリエー

ションや美的利益、石田秀輝先生（東北大学）のように新しい素材を生物から考えていくという発想、バイオミミクリーのようなサービスです。そして教育とか、共同体の、このようなお祭りなどもそうですし、伝統芸能にも、生物多様性や生態系に根ざしたものがたくさんあります。あるいは象徴性のようなものが文化的サービスです。

しかし、実はこのような生態系サービスについて、全部が全部、同じように生物多様性が非常に重要かという、必ずしもそうではありません。例えば、食糧をたくさんつくろうと思うとき、普通われわれは何をやっているかというと、お米を大量に大面積で、しかもコシヒカリのような売れる品種だけを大量につくっています。そのほうが食糧としての供給サービスは高くなるわけです。他のものをつくらないほうがいい。木材もそうです。スギのように値段も高く、経済性の高いものを一面に植えたほうが、供給サービスとしては高いものになる。つまり、そこには生物多様性があまり必要ない可能性があるわけです。調節サービスなどでも、気候の制御と言っても、原生林のような森林は確かに気候を制御するような能力を持っています。蒸散量とか、生産量速度とかがこうしたサービスをコントロールしているわけです。アマゾンのような熱帯林が高い能力を持っているということはもちろんあるのでしょうけれども、必ずしも原生林でなければいけないかというとそうではなく、大きなスギの人工林でも、それは同じように高い機能を発揮してくれるので、必ずしも生物多様性がなければいけないかというと、そうではないわけです。

このように考えると、この図の中で赤く書いているサービスが、生物多様性がおそらく重要になってくるサービスといえます。例えば化学物質。われわれは、多様な化学物質を必要としています。遺伝資源も一つのものではなく、多様なものがが必要です。そして例えば、病気の制御とか、害虫の制御などもそうですが、あとは花粉を運ぶなどというのは、こういうものは一つの生物に対してのものではなく、いろいろな病気に対してとか、いろいろな植物の花粉を運ぶとか、そういうものが必要になるので、かなり高い生物多様性が重要になってくるのです。

文化的なサービスというのは、その地域独特であったり、ある文化的、歴史的な背景をベースにして大事だと言われたりするものが多いです。例えばトキなどは日本と中国は大事だと思っているかもしれませんが、他の国に行ったらそんなに大事なことはないかもしれない。日本の文化や歴史を前提にして、われわれが大切だと思っていることが結構あるわけです。この町にとってはカタクリがシンボルだけれども、他の町に行ったら他の植物がシンボルだったりするわけです。こういう文化的なサービスには生物多様性の重要性が高いです。

MA（ミレニアム生態系アセスメント）では、こういうふうに色分けをしているわけではなく、全部生態系の恵みとして、生態系サービスとして一律にやっています。私は数年前から自分の考えで、生物多様性の重要性の違いを色分けしていたのですが、実はアンディ・ドブソンというアメリカの生態学者も同じように考えています。例えば、この図では、先ほどの供給サービス、調節サービス、文化サービスであったり、基盤サービスという分類の中で、生物多様性がどれだけ重要か、段階的に示しています。

この論文は 2006 年くらいに出版されたものですが、どういう基準で言っているかというと、ある生態系から一種類だけ生物がいなくなった時に、それが生態系サービスにどれ

くらい影響を及ぼすかということです。一種の重みと言いますか、生物多様性の重みを評価した表ですが、A と書いてあるのはそんなに重要ではなく、E とか D と書いてあるものが重要だということを意味しています。

それで見えていくと、例えば森林（赤線の囲み）の中での供給サービスに鑑賞植物が入れています。いろんな花を見たりとか、きれいな樹木を見たりとか、そういうものは非常に多様性が重要だけれども、例えば水、木材、薪などの供給に関しては、多様性はそんなに重要ではない。先ほど私が言ったことと同じようなことを、彼も言っています。調節サービスの中でも無毒化とか、生物制御、あるいは病気の制御とかというものは生物多様性は結構大事なのですが、空気を浄化したりとか、気候を調節したりということに関しては、必ずしも生物多様性は重要ではないということになります。

TABLE 1. Qualitative assessment of the susceptibility of different ecosystem functions to species loss for a number of different ecosystems.

Ecosystem service	Ecosystem type										
	Urban	Cultivated	Drylands	Forest and woodlands	Coastal	Inland water systems	Island	Mountain	Polar	Marine	
Provisioning											供給サービス
Fresh water	A	E	A	A	NA	C	A	A	A	NA	淡水
Fiber	A	A	A	A	A	E	A	A	E	A	繊維
Fuel wood	A	E	A	A	E	NA	A	A	E	E	薪
Food	A	A	A	C	A	E	A	A	E	E	食糧
Genetic resources	NA	E	C	C	E	C	C	C	C	C	遺伝資源
Biochem and pharmaceuticals	NA	A	C	C	E	C	C	C	E	E	生物化学・薬品
Ornamental resources	NA	A	E	E	E	E	E	E	C	E	観賞資源
Regulating											調節サービス
Air quality	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	空気浄化
Climate regulation	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	気候調節
Erosion control	C	A	A	A	E	E	A	A	A	NA	土壌流失の防止
Storm protection	A	A	A	C	E	C	A	A	A	NA	強風の緩和
Water purification and waste treatment	C	A	B	B	E	A	C	C	A	A	水質浄化・廃棄物処理
Regulation of human diseases	E	E	B	C	?	D	C	C	A	A	病気（人間）の制御
Detoxification	C	A	C	C	E	A	C	C	E	A	無毒化
Biological control	D	E	D	D	E	E	C	C	A	E	生物制御
Cultural											文化サービス
Cultural diversity and identity	C	A	D	D	C	E	E	E	C	C	文化の多様性とアイデンティティ
Recreation and ecotourism	D	A	D	D	C	E	E	E	C	C	レクリエーション・エコツーリズム
Supporting											基盤サービス
Primary production	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	一次生産
O ₂ production	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	酸素の放出
Soil formation and retention	A	A	A	A	E	A	A	A	A	NA	土壌形成
Pollination	C	E	C	C	A	NA	C	C	E	NA	送粉
Nutrient cycling	C	E	C	C	C	A	C	C	E	A	栄養塩循環
Provision of habitat	D	E	C	C	E	D	C	C	A	E	生息地の供給

Notes: Type A ecosystem services are those for which losses of a few species are mostly compensated for by the remaining species. Types B-E are successively more susceptible to species loss, with Type E representing services that depend primarily on rare or fragile species (see Introduction). "NA" indicates not applicable; "?" indicates not known.

Dobson 2006, *Ecology*, 87(8), 2006, pp. 1915–1924

文化的サービスは一様に D という評価で、だいたい重要だということで、1つ前のスライドで私がお話ししたことと同じような評価になっています。

まとめると、生物多様性が生態系サービス全てにとって同じように重要かと言うと、そうではなく、場合によっては生物多様性とコンフリクトを起こすような生態系サービスもある。つまり、木材をたくさん効率良く欲しいと思ったら、生物多様性を犠牲にしている可能性があるというということを考えるべきです。生態系は、人間に何らかの利益をもたらしているけれども、その利益を供給サービスとして得るか、あるいは生物多様性の持っている他のサービスとして得るかという、トレードオフがあるということを考えなくてはなりません。

そういうことを考えていくと、森林のタイプごとにわれわれが期待している生態系サー

ビスも違っているということもわかります。

原生林は全ての生態系サービスをわれわれに与えてくれると考えてしまう人たちが結構いるのですが、実はそうではなく、原生林が与えてくれる生態系サービスと、二次林が与えてくれる生態系サービス、人工林が与えてくれる生態系サービス、都市林が与えてくれるサービスは、それぞれ違っています。

この表は、今年が国際森林年だというので、「林業技術」という雑誌に頼まれて書いた時に整理したものです。例えば、原生林の供給サービスというと、山菜やきのこ、水源涵養などはあるのですが、木材などは原生林から切ってくるわけにいかないで、当然そういうサービスは期待できないわけです。化学物質や遺伝資源のようなものは期待できます。

森林のタイプと期待される生態系サービス

生態系サービス	原生林	二次林	人工林	都市林
供給サービス				
食糧	山菜・きのこ	山菜・きのこ		
水	水源涵養	水源涵養	水源涵養	
燃料		薪・炭		
木質材	(木材)	パルプ	木材	
化学物質	化学物質	化学物質		
遺伝資源	遺伝資源	遺伝資源		
調節サービス				
気候の制御	気候の制御	気候の制御	気候の制御	ヒートアイランドの緩和
洪水の制御	洪水制御	洪水制御	洪水制御	
病虫害制御	病虫害制御	病虫害制御		
送粉	送粉	送粉		
炭素吸収		炭素吸収	炭素吸収	炭素吸収
文化サービス				
精神性	信仰			
リクリエーション	エコツーリズム	グリーンツーリズム	グリーンツーリズム	都市のアメニティ
美的な利益				
発想教育	発想 自然教育	発想 自然教育(里山)	林業教育	自然教育(都市公園)
共同体としての利益	祭り・保護運動	共有林・里山運動	共有林	住民参加型管理
象徴性	希少生物・原始性	身近な生物・自然	ブランド材	歴史と結びついた森林など
伝統文化	狩猟文化	里山文化	林業文化	

中静, 2011

しかし、人工林というのは化学物質や遺伝資源（土壌から多少出てくる可能性があります）よりも、むしろ木材とか水源涵養を期待できるわけです。二次林だとそれが薪・炭になる。あるいはパルプになる。そういうサービスをわれわれは期待している。

そういうことを考えていくと、例えば調節サービスというのは、例えば花粉を運んだりとか病虫害を制御したりというサービスは、人工林にはそんなに期待できない。人工的につくった林というのは一種類だけが面積に広がっている林が多いので、むしろ病虫害が発生しやすく、病気のリスクをどんどん高めていると言えるのです。それに対して、二次林や原生林のように、ある程度樹木の多様性の高い森林では、病気と植物が何万年も何十万年も付き合ってた歴史をもっていますから、おのずからそういうところはうまくやっているわけです。病虫害の制御とか、花粉を運んでくれる共生システムというのは、より自然に近い森林のほうがよく保たれているわけです。

文化的サービスの中でも、原生林だと信仰の対象になったりします。大きい森があると神様が住んでいると思うわけですが、人工林や都市の林ではそういうことはあまりありません。社寺林のようなものが残っていれば、ちょっと違います。教育とか観光というものはいろんな森林で可能ですが、原生林では自然教育やエコツーリズムなのに対して、人工林では林業教育だったり、グリーンツーリズムだったりという形になります。このように、森林のタイプごとにわれわれが期待している生態系サービスは違う、ということを考えるべきなのです。

先ほど言いましたように、それぞれの生態系サービスがトレードオフを起こす可能性も

ありますし、一つの生態系サービスがシナジー効果といいますか、ひとつの生態系サービスが優れている場合は、別の生態系サービスも優れているというふうに、相関を持っているケースもあります。

例えば、食糧、燃料とか、繊維などを供給するサービスをたくさん得ようとする、やはり生物多様性を失うことになるので、化学物質や遺伝資源の供給が少なくなったり、単純な生態系になるので病気のコントロールができなくなったり、無毒化できなくなったり、レクリエーションサービスのように生物多様性に関係するサービスは、トレードオフの関係にあります。



逆にこの青い印で示した関係は、生物多様性が関わっているものが多いのですが、化学物質や遺伝資源などと、文化的サービスみたいなものが共存しやすい。あるいは、白いシンボルは、例えば洪水制御のように、生物多様性が高かろうが高くなかろうが、林が大きければ洪水の制御はできるわけ

です。生物多様性の高い林、つまり原生林でもその効果は大きいものだけれども、発達した森林であれば人工林でもそういう効果がある。ニュートラルというか、ケースバイケースで考えざるを得ない。

普通の人たちはなんとなく原生林があると、こういう生態系サービスが全部満たされるような感じがしてしまし、それが生物多様性と強く結びついているような感じを持ってしまうますが、細かく考えていくとそうではないのです。

まとめると、①生態系サービスによって生物多様性の重要性が異なります。そして、②われわれが期待しているような生態系サービスというのは、それぞれ森林のタイプ、湖のタイプ、湿原のタイプによって違うということです。そして、③生態系サービス間にもトレードオフとシナジーがあって、ある生態系サービスを追求しようとする、別な生態系サービスはむしろ失われてしまうかもしれないという関係があるのだということを指摘しておきたいと思います。

このような生態系サービスを評価するわけですが、ミレニアム生態系アセスメントが2001年から2005年に世界中のいろいろな生態系で行われて、それが2005年に報告書としてまとめられました。ミレニアム生態系アセスメントがやった評価は、非常におおざっぱな評価ですが、最近数十年間でこういう生態系サービスが良くなっているか、悪くなっ

ているかということの評価したわけです。

この表の矢印で、それぞれの生態系サービスが良くなっているか上向きの矢印、悪くなっているか下向きの矢印だということです。そうやって見ると、ほとんどの生態系サービスというのは、下向きになっていて、上向きになっているのは農作物、畜産物、養殖水産物です。つまり、われわれの食糧に絡む問題とか、商業ベースで取引できるような、あるいは経済システムに乗っかるような、特に供給サービスは良くなっていますが、その他の生態系が持っているような生態系サービスのほとんどはこの数十年間で悪化しているということがわかります。

ミレニアム生態系アセスメントは、こうした現状の評価と、シナリオベースの分析をしたということで高く評価されたので、いろいろな国で同じようなことをやってみたいということになったわけです。日本では、今年の COP10 に合わせて、環境省が「里山イニシアティブ」を打ち出しました。その一環として里山の生態系に対してミレニアム生態系アセスメントの手法と同じ手法を当てはめて、日本の里山生態系が生態系サービスという点から見た時に、最近数十年間でどういうふうに変化してきたかということの評価したわけです。

Table 1 Changes in ecosystem services and direct drivers (contd. on p. 20)

		利用量 Human Use	利用可能量 Enhanced or Degraded	Indicators and Criteria	Direct Drivers					
Ecosystem Services					Urbanisation	Land use change	Over-exploitation of natural resources	Climate change	Acidification	Pollution
PROVISIONING	食糧 FOOD									
	Rice	↓	→	Crop yield, cultivated area, yield per 10a	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Livestock	NA	NA	-						
	Matsutake mushrooms	↓	↓	Yield		✓				
	Marine Fishery	↓	↓	Catch	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Aquaculture	↑	NA	Catch	✓					✓
	Timber	↓	↑	Forestry production index, standing tree store	✓	✓				✓
FIBER	Firewood & Charcoal	↓	NA	Forestry production index	✓	✓				
	Sericulture	↓	↓	Cocoon harvest, Mulberry-grown area		✓				
REGULATING	Air quality regulation 大気浄化	+/-	+/-	No ₂ /SO ₂ concentration, amount of yellow dust and endocrine disrupting chemicals	✓	✓				✓
	Climate regulation 気候調節	+/-	+/-	Changes or fluctuations of temperature and precipitation	✓	✓		✓		
	WATER REGULATION 洪水調節	+/-	+/-	Area of paddy fields, number of irrigation ponds	✓	✓	✓			
	Water purification 水質浄化	+/-	+/-	Forest area, amount of chemical fertiliser and pesticide use, percentage of sewerage population	✓	✓	✓			✓
	土壌保全 SOIL EROSION REGULATION									
	Cultivated/forests	+/-	+/-	Area of abandoned cultivated land, changes in forest type	✓	✓	✓			✓
	Coastal	+/-	+/-	Sediment supply	✓	✓				
DISEASE REGULATION	病害虫の制御と送粉 Pest regulation and pollination	↓	↓	Amount of pesticide use, area of abandoned cultivated land, changes in forest type	✓	✓	✓			

生態系サービスの状況 Status of Ecosystem services

物質的サービス		状態
食糧 Food	農作物 Crops	↑
	畜産物 Livestock	↑
	漁獲量 Capture fishery	↓
	養殖水産物 Aquaculture	↑
	野生の食糧 Wild foods	↓
	繊維類 Fiber	+/-
木材 Timber	綿・絹 Cotton, silk	+/-
	木質燃料 Wood fuel	↓
	遺伝資源 Genetic resource	↓
生物化学物質、薬品 Biochemicals, medicines		↓
淡水 Fresh water		↓

Millennium Ecosystem Assessment より

調節的サービス		状態
空気の清浄 Air quality regulation		↓
気候の調節（地球規模） Climate regulation – global		↑
気候の調節（地域・地方レベル） Climate regulation – regional and local		↓
水循環の調節 Water regulation		+/-
土壌浸食の調節 Erosion regulation		↓
水の浄化、廃棄物の分解 Water purification and waste treatment		↓
病気の制御 Disease regulation		+/-
害虫の制御 Pest regulation		↓
花粉の送授 Pollination		↓
自然災害の制御 Natural hazard regulation		↓
文化的サービス		
精神的・信仰的価値 Spiritual and religious values		↓
美的価値 Aesthetic values		↓
レクリエーション・エコツーリズム Recreation and ecotourism		+/-

<http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>

これがその結果で、例えばこれは日本の里山、里海生態系での、食糧供給を見ると、お米の供給などは落ちている。世界的に見れば、食料供給サービスは上がっているのに、日本で米の供給サービスが落ちているのはなぜかということ、こういう生態系サービスを外国から輸入しているからです。日本の生態系では落ちている世界では上がっているということになっているのです。そういう地域差は、繊維の供給サービスなどでも同じです。

その他に大気浄化とか、調節

サービスについてはあまり変化していない。里山の雑木林は、昔はエネルギーの供給のために、15年に1回とか20年に1回伐採されていて、林が大きな状態で保たれていたのですが、最近の数十年間で、林が放っておかれるようになりました。むしろ、林は小さくなっているケースが多いのです。そうすると、例えば大気浄化とか、気候調節や洪水調節などは機能としてはアップしている可能性が高いです。一応＋／－という評価になっていますが、おそらくはプラス側に動いているのではないかと私は思っています。

文化的なサービスに関して言うと、われわれが里山との付き合い方をどんどんやめてきたので、例えばお祭りなども下火になっていたり、昔の美しい田んぼの風景がなくなっていたりして、サービスは低下している。一方で、例えばグリーンツーリズムなどは、多少アップしているという評価ができるわけです。

これは皆さんも、こうした傾向を「感じ」として持っておられるでしょうけども、そんなに定量的にやっているわけではありません。「だいたい、こうだね」という、ある程度のコンセンサスが得ながら、矢印の向きを決めているという、その程度のものです。

Table 1 contd. Changes in ecosystem services and direct drivers

Ecosystem Services		Human Use	Enhanced or Degraded	Indicators and Criteria	Utilization	Loss of habitat	Over-exploitation	Climate change	Land use change	Biological invasions	Pollution
CULTURAL	精神的サービス SPIRITUAL	Religion	NA	信仰	Number of temples and shrines, area of sacred groves	✓					
		Festival	↓	祭り	Variety (number) of festivals, use of plants for flower dedication	✓					
		Scenery	↓	風景	Number of applications for '100 best satoyama selection'	✓					
	リクリエーション RECREATION	Education	→	教育	Number of participants, number of NGOs working for satoyama conservation, area of activities, time to spend outdoors	✓					
		Game-hunting and fishing, Gathering clams and wild vegetables	↓	狩猟 山菜	Number of participants described in leisure white paper, number of facilities	✓					
		Climbing, Travel, Green-tourism	↑	ツーリズム	Number of participants described in leisure white paper, number of facilities	✓					
	芸術 ART	Traditional art	↓	伝統芸術	Number of professionals, production, average age (in terms of education of successors)	✓					
		Contemporary art	NA	現代芸術	Number of professionals, production, average age (in terms of education of successors)						

Backed by data		Without supporting data	KEY TO TABLE 1	
↑	↗	↗	A monotone increase (for human use column) or enhanced (for enhanced or degraded column) for the last 50 years	+/- Mixed trend (increases and decreases) over past 50 years or some components/regions increase while others decrease
↓	↘	↘	A monotone decrease (for human use column) or enhanced (for enhanced or degraded column) for the last 50 years	NA Not assessed
→	→	→	No change (for both columns) for the last 50 years	✓ The direct drivers that have influenced ecosystem services

Japan Satoyama Satoumi Assessment, 2010

そういう動きを受けながら、COP10で採択された愛知目標では、生態系サービスに対する考え方が、どんどん重要性を増しています。

例えば、戦略目標Aという間接要因についての指標。人口が増えたり、経済が変化したりという、大きな社会背景が間接要因なのですが、ひとつの目標として、政府や会社において、生物多様性を主流化することによって、生物多様性の損失の根本原因に対処すると

愛知目標 Aichi Target

- **戦略目標A（間接要因）**：各政府と各社会において生物多様性を主流化することにより、生物多様性の損失の根本原因に対処する。
- **Strategic goal A. Address the underlying causes of biodiversity loss by mainstreaming biodiversity across government and society**
 - **目標2**：遅くとも2020年までに、生物多様性の価値が、国と地方の開発・貧困解消のための戦略及び計画プロセスに統合され、適切な場合には国家勘定、また報告制度に組み込まれている。
 - **Target 2**: By 2020, at the latest, biodiversity values have been integrated into national and local development and poverty reduction strategies and planning processes and are being incorporated into national accounting, as appropriate, and reporting systems.
- **戦略目標D（影響）**：生物多様性及び生態系サービスから得られる全ての人のための恩恵を強化する。
- **Strategic goal D: Enhance the benefits to all from biodiversity and ecosystem services**

という目標があります。その中で、例えば遅くとも2020年までに生物多様性の価値が国と地方の開発、貧困解消のための戦略及び計画プロセスに統合され、必要な場合には国家勘定、または報告制度に組み込まれている、という目標があります。つまり、生態系サービスを、例えばGDPのような経済指標に換算しまし

ようというようなことを言っているわけです。今まではミレニアム生態系アセスメントのように、良くなったか悪くなったかというようなおおざっぱな評価をしてきましたが、そうではなく、もっと **GDP** にどれくらいそれが効いているのかというようなことまでやってほしいということを言っているわけです。実際に、日本とブラジルと中国とインドが、**GDP** に生態系サービスの勘定を入れるという作業を始めています。

また、戦略目標 **D** というのは、生物多様性の影響に関する目標なのですが、これは全体として生物多様性および生態系サービスから得られる全ての人のための恩恵を強化するという目標になっています。生態系サービスを全面に出していかなければ、なかなか生物多様性自身の保全をしたりとか、持続的に利用したりというドライビングフォースがかからない。要するに、持続的利用や保全のメカニズムが上手く機能しないということが、だいぶ明確に言われるようになってきたということです。その定量評価を前提として、いわゆる革新的資金メカニズム、例えば認証制度とか、**REDD+**とか、生物多様性オフセットのような、経済メカニズムを導入して、生物多様性や生態系サービスを持続的に利用する、ということが期待されています。



認証制度は皆さんご存知だと思いますが、現在では、持続的な森林に関する認証制度とか、持続的な海産物に対する認証制度が出てきています。消費者がそういう持続的な認証制度を受けたもの、ラベリングしたものを選ぶことができるようになっています。

REDD+もあります。**REDD** というのは、森林の二酸化炭素吸収に関係したものです。実は、世界中で植林をすることによって吸収されている二酸化炭素よりも、もともとあつ

た森林が切られて出ていく二酸化炭素のほうが多いものだから、植林をすることを一生懸命奨励することも大事だが、森林を切らないことを奨励しましょうというのが **REDD** です。その **REDD** に対して+（プラス）というのが **REDD+**です。森林を切らないことで、同時に二酸化炭素吸収以外の利益がある、その利益も含めてクレジットに換算しましょう、ということです。そのプラスに何を含まかということに関しては、いろいろ議論があるのですが、生物多様性条約の立場としては、このプラスの中に生物多様性を含む、というスタンスでやっています。一方、気候変動枠組条約のほうは、まだ生物多様性までは十分に考えていないところもあります。おそらく、流域保全や土壌保全というような生態系サービスはプラスの中に入れて考えています。こういう仕組みを考えて、特に途上国側が森林を切らないことのインセンティブを高めていくことを考えるというわけです。

そして、生物多様性オフセット。そういうものを経済のメカニズムの中に発達させていくということが、これからかなり大きな流れになっていくはずです。

そのためにも生態系サービスの経済評価、あるいは定量的評価がどうしても必要になります。そういう評価をプロモートしてきたのが **TEEB** です。皆さんご存知だと思いますが、**The Economics of Ecosystems & Biodiversity** という、生態系サービスを経済評価しよう

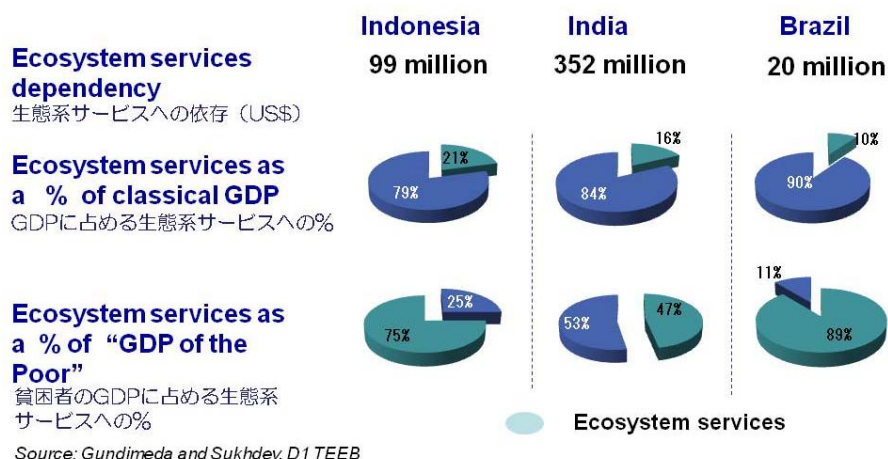
という動きです。これは COP9 の時にドイツで中間報告が出て、今回の COP10 で最終報告が出て、いろいろなサービスの経済評価がなされたわけです。目的は先ほど言ったことと重なりますが、生態系サービスの価値を認識させるということです。

こういう話をすると、われわれがよく付き合っている生物が大好きな人たち、いわゆる生態学者とか、生物学者の人たちの中には、「生き物はお金になんか換算できないんだ」ということを言うひとがいます。でも、一方では、世の中にはお金に換算したりとか、定量化しない限り、いろいろなことを動かしていくことができないという人たちがたくさんいることも確かです。そういう人達にとって生態系サービスの価値を認識するという事は非常に大事だと思います。生態系サービスの価値を示して意思決定に生かす。企業などはまさにこういうことができないければ、生物多様性を保全したり持続的に利用したりする活動を、企業活動に組み込めないわけです。

意思決定に経済メカニズムを導入するというのが TEEB の大きな目標になるのですが、実際に世界中のいろいろな生態系サービスを評価していくと、例えば森林を保護したことによって、地球全体で温室効果ガスの排出防止が年間 3.7 兆米ドルに相当する。世界の漁業資源は毎年 500 億米ドル減少している。自然食品などの売り上げが毎年 50 億米ドル増加していて、2007 年には 460 億米ドルに達したとか、エコツーリズムや、ミツバチが花粉を運んでくれるサービスというのはどんな金額になるのか、木を植えるとこのくらいの生態系サービスの値段になるのだ、ということを TEEB で明らかになりました。

TEEB 自身が計算したわけではなく、いろいろな文献でそれを拾ってきているわけです。地域ごとにも、カメルーンの森林供給サービスや気候調節サービスというように、生態系サービスをお金に換算した例を徹底的に拾いだして、それをレポートにしてまとめたわけです。

そして、すべての人達が等しく生態系サービスに頼っているわけではなく、実は貧しい人達ほど生態系サービスに依存しているということも指摘しています。例えば、インドネシアとか、インドとか、ブラジルで生態系サ



ービスを計算してみると、国全体の GDP に占める生態系サービスの割合はあまり大きくありません。しかし、貧しい人たちの GDP の中で占める生態系サービスの割合は 75% だったり、47% だったり、ブラジルの場合は 89% だったりということになります。要するに生態系を壊していく、劣化させていくことで失われた時に一番損をするのは貧しい人たちののだということが、金額の上でもはっきりと出てくるのです。

日本の経済学者の一部には、「TEEB は 10 年遅れている」と言う人たちがいます。なぜ 10 年遅れていると言うのか。日本学術会議が 2001 年に「地球環境の人間生活に関わる農

業及び森林の多面的な機能の評価」についてレポートしているのです。例えば二酸化炭素吸収や、化石燃料代替とか、表面侵食防止とか、これがいくらに相当するかを計算しているのです。三菱総研が基本的な推定をして、それを学術会議がまとめてレポートを出しています。ですから TEEB が初めてということではなくて、日本でもこういう経済評価を10年前にやっているのです。

森林生態系のサービス評価（日本） Value of ES for forest ecosystems in Japan

○森林の持つ多面的機能の貨幣評価

機能の種類	評価額	機能の種類	評価額
Carbon sequestration 二酸化炭素吸収	US\$ 12.4 billion/yr 1兆2,391億円/年	Flood control 洪水緩和	US\$ 64.7 billion/yr 6兆4,686億円/年
Alternative energy 化石燃料代替	US\$ 2.26 billion/yr 2,261億円/年	Water resource 水資源貯留	US\$ 87.4 billion/yr 8兆7,407億円/年
Erosion control 表面侵食防止	US\$ 28.5 billion/yr 2兆8,565億円/年	Water purification 水質浄化	US\$ 146 billion/yr 14兆6,361億円/年
Landslide protection 表層崩壊防止	US\$ 84.4 billion/yr 8兆4,421億円/年	Recreation 保健・レクリエーション	US\$ 22.5 billion/yr 2兆2,546億円/年

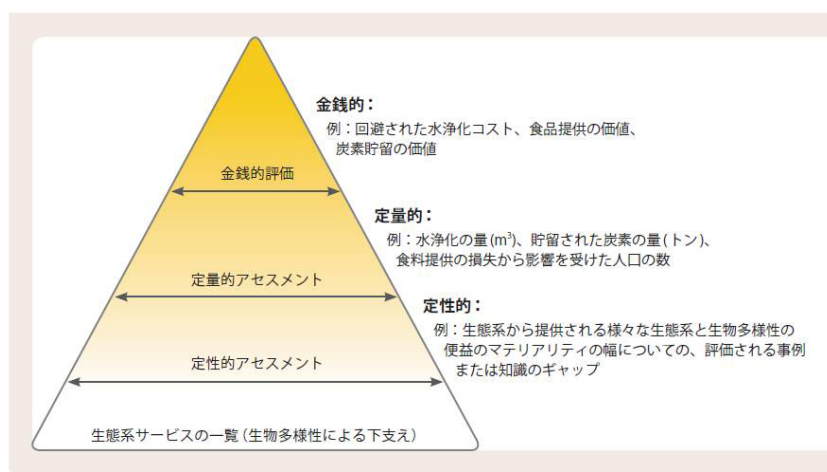
日本学術会議（2001）地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について
Science Council of Japan (2001)

本当に生物多様性が関係しているサービスはこれだけで、生物多様性が重要な役割を持っている他の生態系サービスは、日本の学術会議報告書には含まれていません。つまり、その当時で経済評価の可能だったサービスに限られているわけです。

TEEB の報告書で、私が優れていると思うのは、本当に金銭的に評価できたサービスは、生態系サービス一部分だけだということを明確に述べている点です。山に例えると、金銭的に評価できるのは山のトップの部分だけで、定量的にできる部分はもう少し広い。さらに、例えば文化的サービスなどは本当にそうなのかもしれませんが、定性的にしか評価できないサービスがさらに広い裾野の部分の部分を占めている、ということを TEEB ははっきり言っています。

生態系サービスのすべてが経済評価できるわけではない

というわけで、実は金銭的に評価したと言っても、一部分しか評価していないということと、中には定量的な評価にとどまっていたり、定量的な評価が難しいサービスもたくさんあるということです。生態系サービスや生物多様性、生態系保全とか、持続的利用のメカ



出典: TEEB中間報告書(2008)に引用されているP. ten Brink氏の資料

ニズム、特に経済的メカニズムの構築のためにはどうしても定量的評価や経済的評価が重要だとは言いながら、実は経済評価が難しい生態系サービスがずいぶんあるということになるわけです。

生態系サービスの経済評価方法



World Business Council for Sustainable Development, Environmental Resources (WBCSD), Management (EIM), International Union of Conservation of Nature (IUCN), and PricewaterhouseCoopers LLP (PwC) (2011). "Guide to Corporate Ecosystem Valuation (CEV)". 株式会社日立製作所(訳)「企業のための生態系評価(CEV)ガイド 企業の意思決定改善のための枠組」持続可能な発展のための世界経済人会議(WBCSD)。

森林の洪水防止サービスなどは、森林の代わりにダムをつくるコストで推定できるわけです。ほかには、生物多様性を保全するかどうかで違っている生産性から評価する方法や、たとえば自然環境のよい住宅とそうでない住宅で価格を比較して環境の価値を推定する方法（ヘドニック法）など、いろいろな方法な方法で推定されています。

文化的サービスは、やはり仮想評価法（CVM）や、コンジェント法などの推定方法があります。たとえば、「この森林がなくなるのですが、あなたがもし今 500 円払ってくれたらこの森林が守れますけど、払ってくれますか」というような質問をするわけです。そういう支払い意思を推定していくというものです。これらの方法には、推定値の考え方が微妙で、経済状況の変わったり、人間の価値観がちょっと変わったりすると、大きく金額が動いてしまうという性格のもので、定量的に評価しているとは言いながらも、推定方法によって、その意味や精度が違っているわけです。

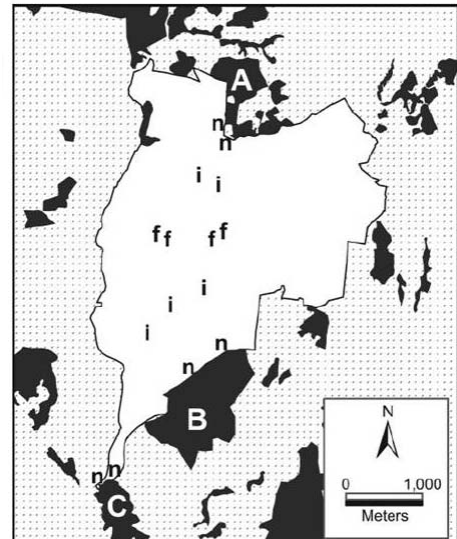
一方で、これまで経済評価が難しいと考えられていた生態系サービスも、推定できるようになりつつあります。例えば、生物多様性が重要で、定量化や経済的な価値推定が難しいと言われている生態系サービスを、なんとか工夫して、経済評価しようという研究もたくさん出てきました。それをいくつかお話しします。

例えば有名な例ですが、コーヒーの花粉を運ぶハチの働きを生態系サービスとして評価する。送粉サービスは 2001 年の学術会議の中でも、評価の中には入っていません。2004 年の PINAS という雑誌、これは「ネイチャー」と「サイエンス」の次くらいに有名な雑誌ですが、そういう雑誌に生態系サービスを評価したという論文が載るわけです。

この表は、生態系サービスの経済評価を、どういう方法でやっているかをまとめたものです。例えば供給サービスは、実際に市場の中で動いているものが多いですから、比較的簡単に市場価格や、他の方法で代替物を作った時の価格（製造の変更）や、代替価格のようなもので評価できます。

調節サービスは、その生態系を保全することで回避される損害のコストという方法があって、

どうやったかという、この白いところがコーヒー園です。コーヒーの花粉はハチが運んでいるのですが、そのハチは黒く塗った場所、つまりの中に巣を持っていて、巣からだいたい半径 1km くらいのところまでが行動圏です。そうすると、広大なコーヒー園のなかでも、森林のすぐ近くにはハチがたくさん来てくれるのですが、中心部にはなかなかハチが来てくれないわけです。この違いが、コーヒーの結実率に影響します。中心部は実のなりが悪いという現象が起こるわけです。結実率が悪いだけでなく、花粉が少ないとコーヒーの実の形も悪くなって、商品価値も下がるということが起こります。では、どれくらい森林を残せばいいのかということを、周りの森林からの距離と、そこで実際に測った結実量や品質から計算します。そうすると、周りにだいたい 20ha くらい森林があることが、このコーヒー園では年間 6 万 2,000 ドルの収入に貢献している、というふうに計算できます。



コーヒー園をどんどん広げていけば、コーヒーの総収量は増えそうな気がしますが、一方で森林をなくしていってしまうと、花粉を運ぶ昆虫がいなくなってしまうわけです。こうした推定をすると、PINAS 誌のような有名な雑誌に論文が書ける時代になってきたわけです。

もう一つ、これはまだ TEEB でも評価されていなくて、日本でももちろん評価されていない生態系サービスです。昨年の Nature 誌に発表された論文ですが、生物多様性の消失が、実は病気の伝播を促進するという論文です。マラリアとか、西ナイル熱なども、やはり生物多様性が失われた結果、伝播で促進されているのだというわけです。図で A は

Table 1 | Biodiversity loss can increase transmission

Disease	Mechanism	Reference
Amphibian limb malformation	B	12
Bacteriophage of <i>Pseudomonas syringae</i>	B	52
Coral diseases	A	53
Fungal disease of <i>Daphnia</i>	B	54
Hantavirus disease	A, B	23,55–57
Helminthic parasite of fish	A*	58
Lyme disease	A, B	18,22,59
Malaria	A	60
<i>Puccinia</i> rust infection of ryegrass	A*	10
Schistosomiasis	B	12
Trematode diseases of snails and birds	B	61–63
West Nile fever	A*, B*	7–9,64

Disease examples are since 2005. A more complete table, including several counterexamples, is available from the corresponding author. Mechanisms for effects were reported by authors or demonstrated in the text (A = host/vector abundance; B = host/vector/parasite behaviour; see Box 1 for details). Asterisks indicate a suggested mechanism. Other studies have been reviewed elsewhere^{21,65}.

Keesing et al. (2010) *Nature* 468, 647–652.

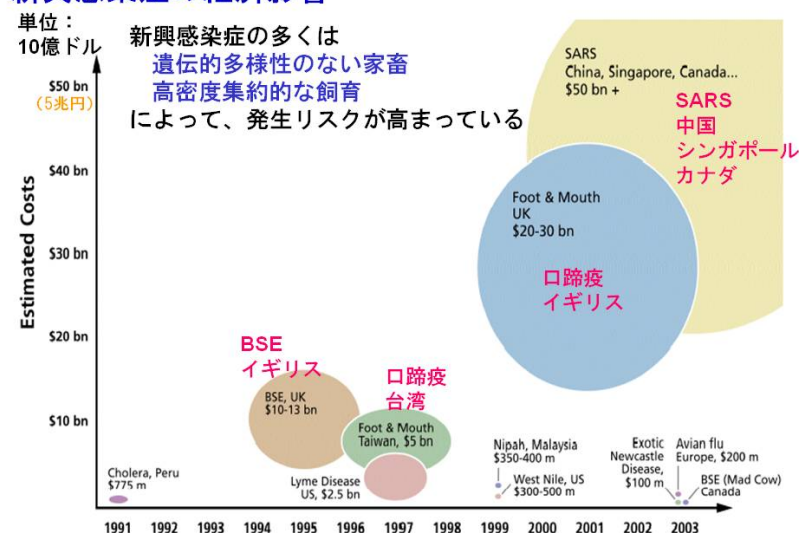
host/vector abundance、要するに運び屋とか、病原体と運び屋の量が増えていくということが原因であるということ。そして B は host/vector/parasite behavior。その病原体を運ぶ生物(ベクター)がいても、その病原体やベクターに寄生するものがいれば、病原体やベクターの個体数が増えないのですが、そのバランスが崩れていくことによっていろいろな病気が広がっていくということです。

いろいろな病気についてすでにたくさんレポートが出ていて、それを調べてゆくと、例えば世界中の人獣共通感染症も生物多様性の損失の結果だという見方ができる、とこの論文は言っているわけです。例えば、世界中の人獣共通感染症の 18% が、人間による土地利用変化によって増えている。あるいは農業の集約化、つまり単一作物の大面積栽培や農薬

の使用によって天敵がいなくなるというようなことによって、13%増えているとか、食品産業の変化のようなことでさらに13%増えているというような分析をしています。自然の生態系では、いろいろな生物がたくさんいて、天敵なども豊富にいて、というシステムの中で生物が進化してきたわけですが、人間が生産効率を高める。あるいは経済的効果を高めるために、モノカルチャーと言いますが、一つの作物を大面積でつくとか、一種類の家畜、しかも肉のおいしい品種を大量に育てるとか、そういうことをやっていくのが農業の集約化です。その一方で、天敵が失われたり、病気を制御する要素がなくなっていったために、病気が広がりやすくなっているということになるわけです。こういうものがNature誌の論文として認められるという時代になっています。

現代は、人間も集中して住んでいますし、家畜は集中しているだけでなく、遺伝的にも均質な個体は何十万頭も一緒に住んでいますので、そこに一旦病気が入ると、ウィルスなどはすぐに組み換えを起こして新しい病気がすぐに進化してしまうし、病原体の増えるスピードも速い。確かにわれわれはおいしいお肉を食べたい、安く食べたいと思ってそういうことをやっているわけで、実際に消費者としてもそれを買っているわけですが、一方では病気のリスクを限りなく高めていっているというのが実情です。

新興感染症の経済影響



After P. Daszak

Figures are estimates and are presented as relative size. See Table 1 for more details.

そして、このような病気が蔓延すると、場合によっては大きなコストがかかります。こうしたコストについても、推定した例があります。これは1991年くらいから世界規模で流行した病気について推定されています。例えばイギリスで2000年前後に流行った口蹄疫では、だいたい3兆円くらい、防御なり、あるいは対策なりに使われたと推定されています。SARS(サ

ーズ)の時は5兆円とか、4兆円とかという金額が世界中で対策に使われている。実は、この金額を、われわれが何らかのかたちでそのコストを社会的に負担しているわけですが、その負担をしているということをわれわれはあまり認識していません。ですから、生物多様性の損失によって失われたこのようなサービスのコストを、経済評価しようと思えばできるはずですが、しかし、生物多様性の損失が原因だという認識を皆さんがあまり持っていないので、なかなか難しい面もあります。こういう研究がNature誌にたくさん出てくれば「そうだ」というふうに言えるようになるのかもしれませんが。

最近、日本でも話題になっているナラ枯れもこうした問題として考えることができます。ナラの木がどんどん枯れていくという病気ですが、これはカシノナガキクイムシというキクイムシがナラ菌という菌を運ぶのです。そしてキクイムシがナラの木を食い破るときに菌が移り、菌が広がると樹木が水を吸い上げられなくなって、ナラの木が枯れるという病

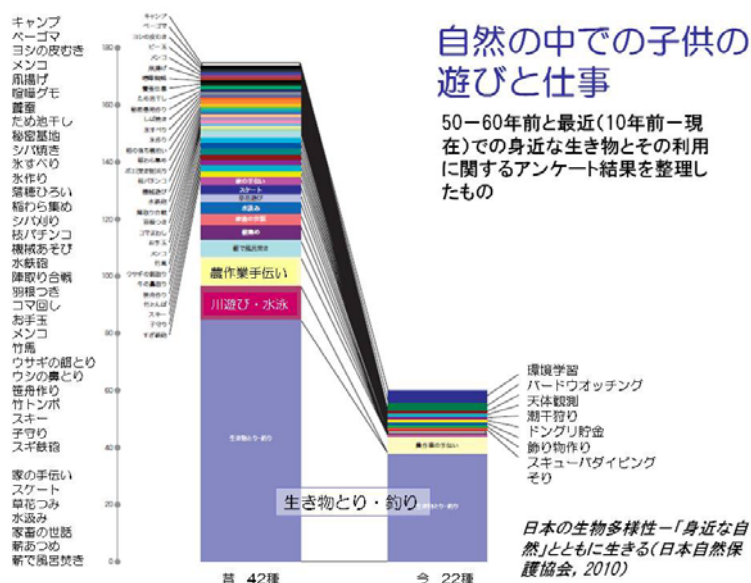
気です。これは実はキクイムシもそうですし、菌のほうも昔から日本にいたと言われている病気で、それがなぜ今頃になってこんなに広がっているのか、ということが問題です。

昔はこういうナラ林は、ほとんどがエネルギー供給のために作られた林で、15年とか、30年という周期で伐採されていて、大きな木にならなかったのですが、今は放っておかれてしまっているのです、みんな直径30cm、40cm、50cmという大きな木になっています。そういう太い木を狙って、マスマタックというのですが、たくさんのキクイムシが集まってきます。そこで増えた菌がその木を枯らし、また増えたキクイムシが病気を広げるわけです。自然の状態では、ナラだけが大量で生えているようなところはほとんどなくて、いろいろな木と混じりながら生えていたわけです。ナラは炭焼きに適していたので、その必要性から人間がナラを増やして、それをある時点から放ったらかしにした。その放ったらかしにしたところからこういう病気が始まるというわけです。ですから、これは里山の衰退がもたらした負の生態系サービスと呼べるわけです。

こういう病気からナラの樹木を守りたいわけですが、なかなか守り切れない。すごく広がってしまったし、お金がかかる一方、ナラの本の経済価値は低いので、守り切れないのです。一方、どういうふうに病気が広がっていくかということ进行分析してみると、太い木ほど病気にかかりやすかったり、周りに同じナラの木がたくさんあると病気にかかりやすいとか、同じようなナラの林が広い面積で広がっていればいるほど病気にかかりやすい、ということがわかってきます。

つまり、人間のインフルエンザと同じなのです。流行ると学級閉鎖、ということになるのですが、この場合も同じで、ナラもあまり大量で植林をせず、他の樹木と適度に混ぜておけば、病気の広がる速度はもっと抑えることができるかもしれません。

というような例が、調節サービスのうち、特に経済評価がむずかしく、かつ生物多様性のかかわりの大きいサービスに関しての、最近の動向です。これからおそらくこういうサービスも定量的・経済的に評価できるようになっていくはずですが、文化的サービスの定量的・経済的な評価という話が最後まで残るのですが、これについても、その変化はある程度定量的に評価できます。



これは自然保護協会が昨年まとめた「身近な自然と共に生きる」というパンフレットで、文化的サービスについて最近50年間くらいの変化をまとめたものですが、非常に良いパンフレットだと思います。インターネットのサイトからもダウンロードできます。

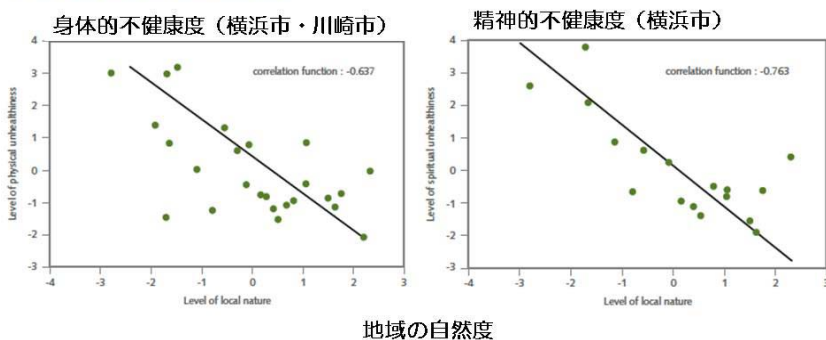
何をやったかという、50年から60年くらい前と最近で、身近な生き物とか、その利用法に関するアンケートを

全国の NGO に送って、例えば「自然の中で子供が遊んだこと、あるいは親に言いつかった仕事というのはどういうものがありましたか」という質問を 50～60 年前に子供だったおじいさん、おばあさんたちと、今の子供たちにするわけです。そうすると、昔は生き物捕り、川遊び、農業手伝い、キャンプ、ベイゴマなど、植物や動物と関わったりするような遊びが 42 種類も例数があるのです。しかし、今の子供たちは本当にこういう遊び方をしなくて、きっとテレビゲームなどしているのだと思うのですが、その遊びの数も減っているし、外で遊ぶ回数も減っている。これも一種の定量化なので、いかに 50 年前、60 年前と今の子供たちの生活、あるいは感じるものが違ってくるのだろうかということを考える材料にはなると思います。しかし、このことが、どれくらいわれわれにとって、あるいは自分の子供たちにとって価値のあるものなのかというのはなかなか測りづらい。

別の例では、地域に伝わる伝統的技術なども、調べられています。例えば遊び道具をつくったり、魚の捕り方、竹細工、わら細工。こういうものが昔は 25 種類で相当数の報告例があるのですが、今も残っているものはチガヤのくぐり輪づくりやチマキづくりなどです。クラフトなど、わりとおしゃれな感じのものが新たにでていますが、全体として、種類が非常に減っています。結局、地域に伝わる伝統

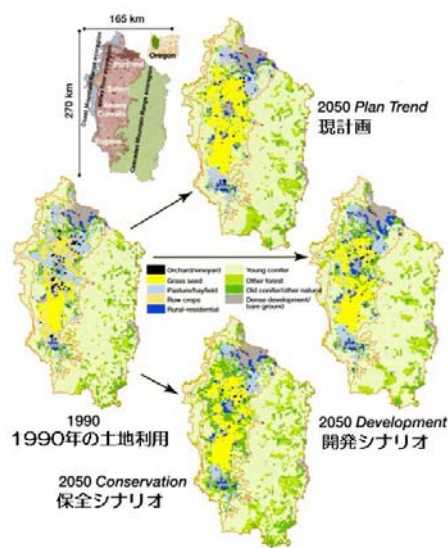
的な技術がなくなっているわけですが、こういうものがなくなると、地域の魅力がなくなるとということにもつながると思います、それをわれわれ自身がどれくらい大事だと思うかというところが、評価の問題としては最後に残ります。結局、文化的なサービスの価値とか、定量的評価というのはなかなか難しい。必ずしも経済評価までできないかもしれないけれども、だからといって、重要な価値だと思う人はたくさんいるに違いないと思います。あるいは、これは里山・里海アセスメントの報告書に出ていたグラフですが、説得力があるかもしれないと思います。例えば横浜市、川崎市で身体的不健康度と自然度をグラフにしています。地域の自然度を横軸にとって、そういう身体的・精神的な不健康度、を縦軸

Figure 9 The relations between natural environment and health in physical (a) and mental (b). Source: Tanaka, 2005



にとると、自然の豊かなところほど体も心も健康だ、という結果が出てくるわけです。指標として何を持ってくるかによって、いろいろな議論があると思いますが、これも一つの定量化の方向です。指標を使えば、ある程度

のコンセンサスを持って実際に測れるようになれば、定量的な評価のできる生態系サービスはさらに広がってくると思います。

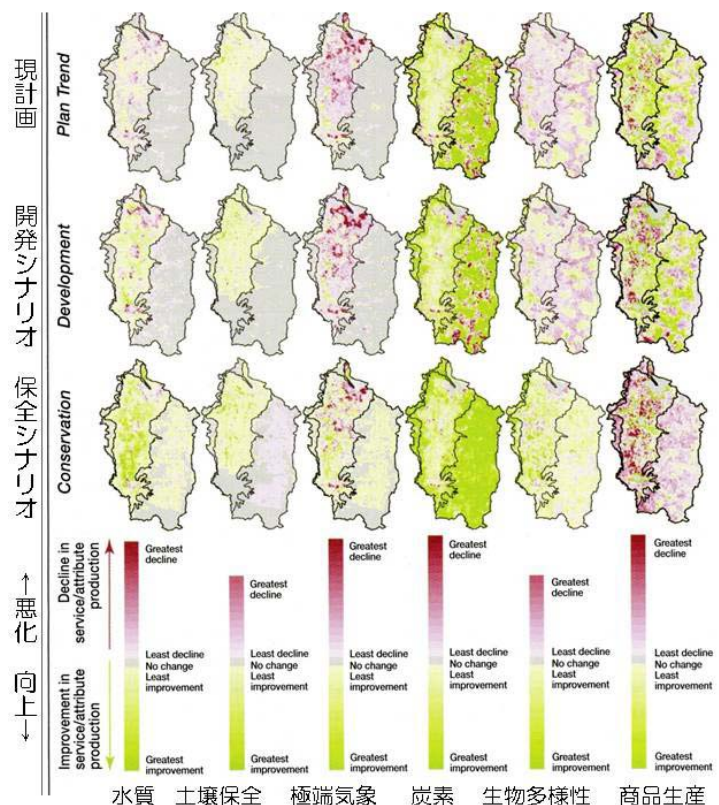


例えば、現在こういう開発計画を持っている。その計画通りにやると、2050年までに土地利用がこう変わります。そして、この計画よりも保全に力を入れたシナリオで土地利用を進めるとこういうふうに変わりますし、開発を重視したシナリオによるとこういうふうに変わりますということを示すことができます。さらに、その場合に推定できる生態系サービス、赤いところが悪くなるところで、緑のところが良くなるところ、というように示されています。現計画だとあまり良くならないけれども、保全シナリオだと水質保全や土壌保全、炭素吸収のようなサービスが良くなる一方、商品生産サービスは低下する、というように、どの地域でどのサービスが良くなるのか悪くなるのかということが示せるようになっていきます。

このソフトには、一昨年ブループラネット賞をもらったグレッチェン・デイリーが関わっています。土地利用の情報とか、生態系サービスとそれを脅かす要因などの情報を入力すると、GISを使ってこういう地図を描いてくれるソフトウェアができてつあるのです。

この、InVESTというソフトウェアは、フリーでダウンロードできるのですが、今度このソフトウェアを使って、中国全土で生態系サービスの評価をやるらしいです。

いろいろな生態系サービスがあって、先ほど言いましたように、生物多様性に関係するものもあるし、関係があまりはっきりしないものもあるし、生物多様性サービスの中にはトレードオフやシナジーの関係にある場合もあるということで、実際にどのようにこれらを管理したらいいのか、ということになります。例えばこれは北米の例ですが、この地域の土地利用計画を変えた場合に、どういうふうに生態系サービスが変わってくるかということを推定して、地図に表すことが可能なソフトもできています。



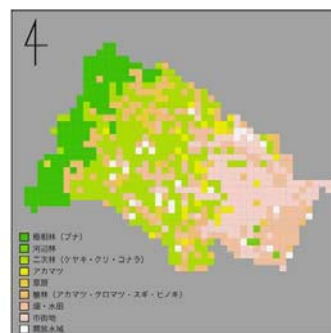
日本でもいくつか類似の研究があります。これは森林総研の人たちがやっている研究で、ソバの送粉サービスに関する評価です。ソバというのは、花粉を運んでくれるハチをはじめとして、いろいろな虫が花粉を運んでくれることで、結実します。これは茨城県北部の、谷の入口から奥まで、いろいろなところでソバが栽培されている地域です。周りに森林がたくさんあるソバ畑もあれば、開けていて畑しかないようなソバ畑もあるのですが、いろいろな状況にあるソバ畑で、結実率を調べたものです。

結果として、畑の周囲 3km 以内の森林面積が多いほど、周囲 100m 圏内の自然植生が増えるほどソバの結実率が良くなるということがわかります。一面のソバ畑とか、田んぼの中のソバ畑みたいなところは、単位面積あたりの収量が落ちるということになります。統計的にはきちんとした計算値として、例えば森林面積がどれくらいで、100m 以内に自然植生がどれくらいだったら、ソバの結実率はこれくらい、プラスマイナスこれくらい、ということが推定できるような計算ができます。

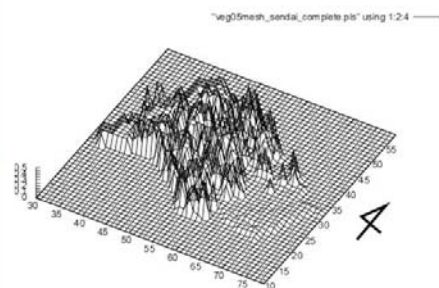
こういう方法を発展させると、どういう土地利用の場所がソバの栽培に適しているか、推定できる床になります。仙台市で大野ゆかり（東北大学）さんが、仙台市の植生図から推定した送粉サービスの地図を書いています。これはマルハナバチという、カボチャ、ナス、キュウリなどの花粉を運んでくれるハチなのですが、そういう虫がどこに一番多いかというと、原生林のところも多くないが、海岸沿いの田んぼや都市域にも少なくなくて、やはり里山の森林と畑が入り混じりあった景観を持っているところにたくさん生息しているということがわかるわけです。

こういう地図を、今度これから 5 年間くらいでこういう地図を、日本全国、あるいはアジア規模くらいでこういう地図をつくらうというプロジェクトをやることになっています。環境省がスポンサーになっていますが、こういうふうに、少しずつ生態系サービスの定量化と地図化が進みつつあります。

Based on evaluations on vegetation types by habitat and foraging quality, the expected pollination service was estimated



1km mesh map of vegetation



Estimated pollination service

Ohno et al. (unpubl.)

というわけで、定量化は確かに難しいのですが、供給サービスのほとんどが間違いなく定量化できますし、病気の部分はまだ技術開発が必要ですが、調節サービスも大部分について、推定方法が発達してきています。

文化サービスについては、エコツーリズムのようなサービスは比較的やりやすいですが、それは一部に過ぎません。先にご紹介したような、さまざまな方法があるものの、その解釈や精度は、他の推定以上に問題が多いです。

そうは言いながらも、先ほどのように、どの生態系サービスがどこで劣化するのか。生態系サービス・コンフリクトを起こしているのか、というようなことが地図化できるようになれば、土地利用とか、いろいろな計画がそれに応じてできるようになるわけです。昨

日まで、私は「生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム (IPBES)」で行う生態系アセスメントの大枠に関する議論を、国連大学で 3 日間やっていたのですが、その中でも、生態系サービスをどうやって定量的に評価して、あるいは地図化して、政策決定の中にどうやって生かしていくかということがメインテーマです。この流れは非常に大きくなりつつあります。

というわけで、ここまでが生態系サービスの評価に関する話題です。後半は話が少し変わって、今回の震災の中で生物多様性とか、生態系サービスをどういうふうに考えていくべきなのかという話をします。

この写真は蒲生干潟といって、仙台市内でラムサール条約の指定がされているところで、大変たくさんの鳥がこの干潟に飛んできます。これは 2009 年の写真ですのでもちろん津波の前なのですが、干潟の周りにヨシ原が広がって、底には泥が堆積していろいろな底生動物がいて、それを鳥が食べて、というようなことで、たいへん多様性の高い生態系を見ることができる場所でした。

それが今回の津波で、小さな砂丘の部分の土砂が全部流されてしまう一方、干潟の部分に砂が堆積して、一旦乾いた土が出てしまいました。しかし、その後 1 ヶ月くらいして、比較的昔に近い形に戻りつつあります。砂が動いてしまって地形も変化してしまったわけですが、ある程度こういうところは昔から台風などで砂が流れたり、あるいは洪水で流れたりするところですので、自然に任せておくと少し戻る可能性はあるのでしょうか。どのくらいのスピードで戻るのかは全然わからないので、ちょっと見ていくしかないという状態なのですが、比較的早く戻るかもしれないと予想されています。

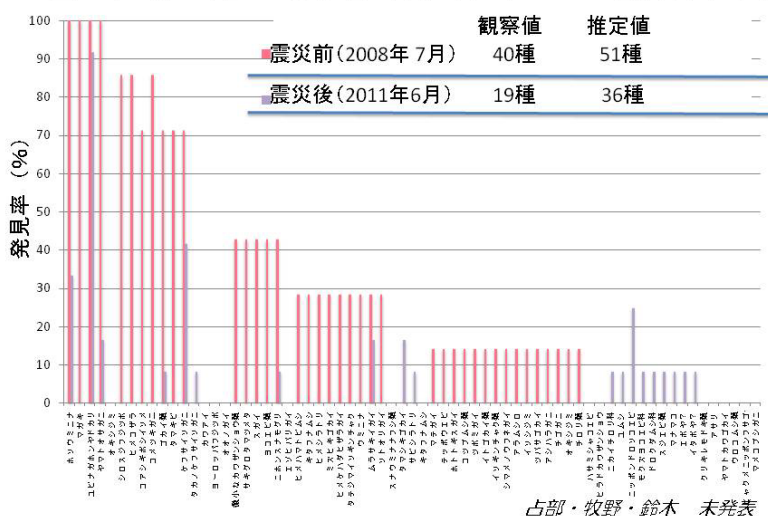
今回、地震の被害というよりも、やはり津波の被害が大きかったわけですが、例えば太平洋側の岩手県から宮城県にかけてはリアス式海岸で入り組んだ湾がたくさんあるのですが、そういうところには小さな河川が流れ込んできていて、河口周辺に小さな干潟とか、湿地、藻場がたくさんあります。こういうところが一番被害を受けている場所です。

干潟の生物に対する影響はどうかというと、これはうちの占部城太郎さんとか、鈴木孝男さん、牧野渡さんたちが、今回の震災被害を受けた干潟を、調べたものです。震災前のデータもあったので、一緒に示しています。例えばこれは松川浦という福島県の河口にある干潟ですが、赤いほうが震災前、青が震災後に捕まえられた動物の数を示しています。

こうして見ると、震災前には 40 種類くらい動物が観察

松川浦調査結果(1) 調査場所: 鶴の尾

底土表層を15分間歩き回って探索し、見つけたベントスをポリ袋に入れる
小型スコップを用い、底土の掘返しを15回行い見つけたベントスをポリ袋に入れる



できたのですが、震災後はそれが 19 種類になってしまっています。すごく減ったと見る人もいますし、以外に減っていないと見る人もいますが、このくらいの種類に減っています。量はかなり減っていますが、たくさんいた種類というのも変わってしまっています。これがだいたいどのくらいの時間で戻ってくるのかというのが、これからのわれわれが関心を持っているところです。三井物産の環境基金から援助をもらうことが決まったので、これからモニタリングを続けることになります。

有名な陸前高田の写真です。高田松原の松が 1 本だけ生き残ったわけですが、高田松原は、震災前に人間が数十年かかって延々と造成した松林で、その内側に干潟があるという場所なのですが、これが震災、津波を受けてまったくなくなってしまいました。津波の引き波によって、松林だったところの砂を流し去ってしまい、大きな水路になってしまっています。それくらい地形も変わってしまうわけです。



陸前高田（震災前）



陸前高田（震災後）

あるいは、これは仙台市の近くの荒浜というところの海岸です。海の近くに海岸の防潮林が幅で 500m くらいありました。これが震災を受けて、ほとんど最内陸部までやられてしまうのです。スマトラ島の津波の時には、マングローブがあったお陰で津波の勢いがそがれたとよく言われていましたが、確かにこの辺を見ると、最後の 500m のうちの僅かな部分まで被害が達しているところが多いです。場所によっては、松林があったことによって津波の被害を受けなかったところもあります。しかし、今回は、松林が本来持っている、



仙台市荒浜（震災前）



仙台市荒浜（震災後）

津波を防ぐ効果をはるかに超えるほど、強い津波だったと思います。このような松林が津波の役に立たなかったかという、そうではなく、もう少し津波が弱ければ確実に役に立ったのだと思いますが、今回の津波はそれを超えてしまっているということです。

一面に被害を受けた場所がある一方、残っている松林はなぜか列状に残っていたりします。幅 1km くらいに渡って全部倒れてしまっている場所もあれば、幅 60m くらいなぎ倒されて、その両側の松は残っています。このようにさまざまな形で松林が被害を受けています。

震災の特徴をまとめると、津波の被害が圧倒的に大きい。それから、なんといっても海域、沿岸域の被害

が大きい。沿岸域は、日本では最も生物多様性の損失が懸念される生態系の一つだと言われています。実は昨年、環境省の依頼で、日本の生物多様性総合評価をまとめさせてもらったのですが、沿岸域と淡水生態系、それから島嶼生態系が日本で最も生物多様性の減少が心配されている生態系である、という総括をしました。それは、人間が海岸をさまざまに変えていっている影響が大きいのですが、そういう意味でも生物多様性がなくなっていって、残っている重要な部分が一番被害を受けた。さらに、こういう沿岸域とか、干潟、藻場、アマモ場というのは、魚が産卵をする場所であったり、エビやカニの幼生が育つ場所であったりというわけで、実は海産物資源のゆりかごと言われる場所なのです。その意味で、沿岸域の生態系が失われたということは、長い目で見ると、海の生態系サービスが大きなダメージを受けているということになります。要するに、魚が捕れなくなる、エビが捕れなくなるということが、この先起こってくるという可能性があるわけです。

そして、地形の改変を伴っている。先ほどのように、ただ木が倒れてしまったのではなく、木が生えている砂浜自体がなくなってしまったということです。また、瓦礫とか、いろいろな化学物質が海の中に流れ込んでいて、その影響があるだろうと思います。とはいながらも、実は海岸の生態系は、先ほど蒲生干潟が 1 ヶ月くらいで結構戻ってきているというようなことも象徴的なのですが、もともとは海がしょっちゅう荒れたり、波が来たり、洪水があったりというわけで、いろいろな自然の攪乱を頻繁に受けている場所なのです。ですから海は、生態系としては森林などよりもずっと回復力がある生態系だと思います。

震災の特徴の二つ目ですが、陸上生態系の被害はあまり大きくない。簡単に言えば、海岸林だけです。津波の被害は標高数十メートルくらいまでで、それよりも高いところの森林は、ほとんど影響を受けていませんし、この地域はほとんど二次的な自然が多いので、例えば今回の津波で壊された原生林は一つもありません。そのような意味では森林生態系の被害は大きくないのですが、砂浜植物は地形の変化が大きいので、本来の生息地がまるごとなくなったケースもあるかもしれません。ただ、先ほど言ったように、砂浜も波がい



つも来る場所で、例えば砂が波に持っていかれたりとか、あるいは塩水をかぶるとか、そういう攪乱が頻繁に起こるところで、砂浜の植物や生物は、そういう場所にしか住んでいない生物です。つまり、本来は自然攪乱の影響が起きる場所なので、地形の変化みたいなものは非常に大きい影響を及ぼすでしょうが、津波をかぶったからといって、海岸の生態系は案外回復力は大きいのではないかと思います。

海岸林の被害は非常に大きいです。海岸林はほとんど人工林です。これは人間が、例えば潮を防いだり、砂が飛ぶのを防止したりという生態系サービスを期待して何十年もかけて最初に最も内側側に植えて、それが落ち着いたら海側に植えて、それが落ち着いたらまたより海側に植えて、ということを何十年もかけて造成してきた人工林です。生態系サービスを確保するために人間がつくった林なのです。しかし、先ほどの高田松原もそうですが、歴史的存在意義も非常に大きいものがあり、実際に国の景勝地になっていたりもします。そして、津波の抑制効果もおそらくはあったのだけれども、今回の津波はそれをはるかに超えるような大きなものだったということです。生物多様性としては、大きな被害はないと思いますが、人工林の中とは言いながら、ちょっと特殊な立地、水が湧いていたり、そういうところにはわりと珍しい植種や生物が棲んでいたりする時もあります。

もう一つ大きな特徴は、三陸というのはリアス式海岸で、入り組んだ小さな海岸が多いです。そういうところは、小さな河川が流れ込んでいて、すぐ後ろに山があって、川があって、田んぼ、畑があって、海がある。小流域河川が非常に多く、海と川と山がすぐつながっているし、つながっているのが見える場所だというのが特徴です。

そういうことを考えると、復興と生物多様性というより、生態系サービスのほうが直接的に結びつくと思っています。あれだけの津波の被害を受けた人たちの前で、「ここの生物はこんなに貴重だから、それを守るような復興をなさい」などということは、とても感覚的には言えないわけです。われわれが一番考えなければいけないのは、生態系サービスだと思うのです。三陸地域、あるいは仙台の浜もそうですが、地域の産業とか文化が海の生態系サービスに非常に大きく依存してきた地域だということをもう一度考えるべきです。生態系サービスという言い方をしなくても、「海の恩恵」と言ってもいいのですが、海の恩恵が産業や文化を育ててきた場所だということをもう一度認識する必要があるということです。

そんな中で、一番被害を受けた干潟や藻場、海藻場というのは、漁業資源の涵養に一番重要な生態系であったと同時に、生物多様性からも重要な場所であるということは指摘できます。そして、海岸林のほとんどは人工林で、本当は生物多様性の観点から言うと、その重要さはそんなに大きくはないと思いますが、生態系サービスを人間が期待してつくった林です。そういう林ですから、大きな価値を持っていたわけで、これがなくなるとその内側で農業ができなくなったりとか、住むことができなくなったりするわけですので、おそらくもう一度復活させなければいけない。それくらい、生態系サービスの価値が大きいということです。

そして、三陸海岸は流域レベルの生態系サービスを考慮した復興計画が必要だと思います。生態系のつながりを、流域レベルで一番考えやすいのが、小流域です。上流で森を切ったら何が下で起こるのかということがすぐに見える場所です。それだけ影響がダイレクトに出てくるので、その流域での生態系サービスを考慮した復興計画が重要になってくる

のだろうと思います。

干潟の地形の変化とか、藻場が砂を持って行かれて、この先どうなるかというのは、専門家に聞いてもみんな予想が難しいというのです。例えば埋立地ができるので他の場所に藻場をつくろうなどと自然回復をさせた例でも複雑な潮の流れなどのために、期待した場穂に砂が定着しなくて失敗するようなことが多くて、なかなかうまくいかないのです。そういう意味では変化の予想が難しい生態系が多いわけですから、人間が技術で何でもできると思わずに、モニタリングを基礎にして、順応的な方法で回復させていくことを考えなければいけないと思います。

私たち東北大学の生態適応 GCOE では、NGO の方たちも含んで「海と田んぼからのグリーン復興宣言」をやらせていただきました。例えば畠山重篤さんたちがおっしゃっているような、「森は海の恋人」運動のように、流域レベルで考えなければいけないとか、早い復興は大事なだけでも、環境への影響評価を行わずに早急に山を削ったりすると、ずっと頼ってきた海の生態系サービスを失うことになりかねない、ということで、やはり長い目で見た時に、大切な生態系サービスを失わないことを考えて、復興計画を立ててくださいというようなことが、私たちの主張です。

今日の前半の話と後半の話は必ずしも結びついていないのですが、「生態系サービス」という主テーマで、復興と評価についてお話させていただきました。どうもありがとうございました。

水口 哲（博報堂） どうもありがとうございました。「ほとんどの生態系サービスが経済評価可能」ということですが、具体的に日本では誰ができるのかというのが一つ。震災影響として一番大きいのは、放射能によって生態系サービスがどれくらい影響を受けて、どう復興したらいいかということだと思うのですが、外国の生態学の教科書とか、都市計画の本には必ず放射能のチャプターがあるのですが、日本のものにはなくて、日本でできる人がいるのか、いないのか。いないとしたら、外国人だと誰に助けを求めればいいのかということ。この二つを質問します。

中 静 最初のほうの生態系サービスですが、ほとんど経済評価できるというよりは、文化的サービスはまだまだ難しい側面があるというのが正しいです。その他はかなり可能になってきているということです。こうした評価ができるのは、環境経済をやっている方で、いろんな方がいらっしゃいますが、例えば栗山浩一さんとか、長崎大学の吉田謙太郎さんとか、東北大の馬奈木俊介さんとか、結構いらっしゃいます。その方たちは支払意思額のようなものも含めて生態系サービスの経済評価をかなりやっています。

定量的な評価だけだと、例えば防災関係の人たちが洪水関係をやっていたり、あるいは水源涵養のことはその専門家がいたり、ということで、2001 年の学術会議の報告書の時に、すでにあそこまで推定ができています。そういうデータは結構あるので、それを統合するだけで計算できると思います。

ただ支払意思額みたいなものは、やはり微妙な所があって、やっていまする方も「使い方には注意しなければいけない」ということは十分おっしゃっています。例えば神奈川

県で水源税を導入した時にも支払意思額の調査をやって、神奈川県の人たちが水源税としてどれくらい払ってもいいのかという調査を実際にやられて、3,000 円くらいという結果になったそうです。それでも実際に設定されたのは 1,000 円で、ちょっと少な目な金額から始めて、住民の方がどれくらい抵抗感があるのかというようなことを見極めながらやっていかなければ、なかなかそれはできないだろうというふうにはおっしゃっています。

放射能ですが、日本の生態学研究者はほとんどやっていなくて、先日学術会議でシンポジウムをした時に紹介された話も、全部チェルノブイリの話でした。チェルノブイリは今年でちょうど事故後 30 年です。それで大きな報告書が出ていて、その報告書の中身を紹介したというのが、実はこの前のシンポジウムの中身です。チェルノブイリの時には、例えば鳥にどんな影響が出たとか、鳥の繁殖率がどれくらい下がったとか、そういうものもずいぶんやられています。チェルノブイリの生態系の影響を調査した人たちが、日本にも 2 人くらい入っていらっしゃるらしく、実際に調査もしていられっしゃるらしいのですが、日本人できちんと調査をしている人たちというのはまだいません。実際にああいうところに入っていくためには許可も必要ですし、いろいろな装備や予備知識も必要だということで、たぶんこれから出てくるとは思うのですが、まだそういう意味では何も無い状況です。

ただ、モデル的に計算している人たちはいて、横浜国立大学の人たちが最近放射能の影響をモデル的に計算し始めているようです。しかし、その程度です。本当にそういう意味では日本は国や東電が何もしてこなかっただけではなくて、われわれも何もしてこなかったというのが実情です。

佐藤淳（読売新聞） 東北地域でこれからやろうという人たちはいるのですか。

中静 今のところ、放射能に関して私が聞いている限りでは、ありません。

佐藤 「海と田んぼからのグリーン復興宣言」で具体的にお聞きします。今、海岸線が津波で危ないということで、高台に移り住んで、漁港の機能などは下に残したままにしようという考え方が出ています。例えば北海道の奥尻などに行くと、復興した後の海岸線はガッチガチに固められていて、確かに高台に住んでいるのだけれども、そこの下の海岸線というのはグリーン復興というイメージとは程遠い感じです。日本の海岸線の防災のあり方というのはコンクリート中心に來たのですが、今回そのコンクリートも突破されてしまいました。一方で、少し平らなところの海岸林のような少しグリーン系のものもやはり無力であるということもわかった。そうすると、グリーン復興宣言と言いますが、下のほうの海岸線というのは 3.11 以降に具体的にどういう姿を想定したらいいのでしょうか。

中静 そうですね。難しい話だと思います。例えば、森林がまったく役に立たなかったわけではなく、幅 500m だったから役に立たなかったという言い方もできるのです。1km の幅があればもっと違っていたというのもありますし、そういうことができるかどうかというのはまた別の議論が必要な問題だと思うのですが。例えば、堤防はある程度作る必要があるとは思っています。ただ、本当に海岸沿いのところに堤防をつくる必要があるかというのと、そうではなく、海岸はできるだけ自然な海岸で残して、それよりも内側につくった

方が、沿岸生態系は残せます。それも、津波から 100%守れるような堤防ではなく、「ある程度のところまでしか守れません」というのを前提に、いわゆる「減災」というような考え方を生かして対処するのが現実的だと思います。田老町みたいなところは、家がなくなってしまったので余計にそう感じるのかもしれませんが、ものすごい巨大な堤防だったということがよくわかります。あの堤防でも守りきれなかったわけですし、地元の人たちはあれがあることで安心してしまったということもあるようですので、「ある程度のところまでしか守れない」という前提で、海岸線はできるだけ自然に残して内側につくっておく。それで守れる日常、日常というのはどこまで日常かという問題がありますが、例えば 50 年に 1 回くらいの災害からは守れるけれども、100 年に 1 回のものは守れないというような基準は、ある程度はつきり示しながら、実際に起こった場合には被害を最小限にすることを考えた土地利用をしなければいけないのではないかと思います。

漠然としか言えないのですが、やはり今までのような人工構造物が万能だという考え方は通用しないのではないかと思います。

佐藤 先ほどの流域レベルでというものの解決方法の中にそういうヒントはないですか。

中静 流域レベルというのは、私たちが一番心配をしているのは、高台に家をつくるという時に、高台を大開発してしまうということをまず心配しています。そういうふうにしていくと、土砂がみんな海に流れ込むことによって、沿岸の生態系を劣化させ、生態系サービスを損なう可能性があります。安全性のために大開発を上流でしてしまうことによって、海や沿岸の生態系の回復を著しく遅らせるということが一番大きな心配です。流域レベルで考えるというところでは、そうした視点にたって、全体の土地利用を考えてもらいたいと思います。開発が無秩序に起こってしまうことも心配です。

佐藤 具体的にそういうことが起こっているということはないのですか。

中静 まだそうでもないと思います。まだ復興計画の青写真そのものがしっかり固まっていないところがほとんどで、今いろいろな自治体で、復興計画の基本方針についてパブリックコメントを募集している状態です。われわれもパブリックコメントの中に、私たちの考え方などを入れていきたいと思っています。

司会 今日はありがとうございました。