

# 自然資本と生態系サービス

東京大学大学院農学生命科学研究科

未来ビジョン研究センター(兼任)

准教授 橋本 禪



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

## 人新世 (Anthropocene)

新しい地質学的時代区分(18世紀頃から)  
人類による農業や産業革命を通じて地球規模  
の環境変化をもたらした時代  
(現在も含む)

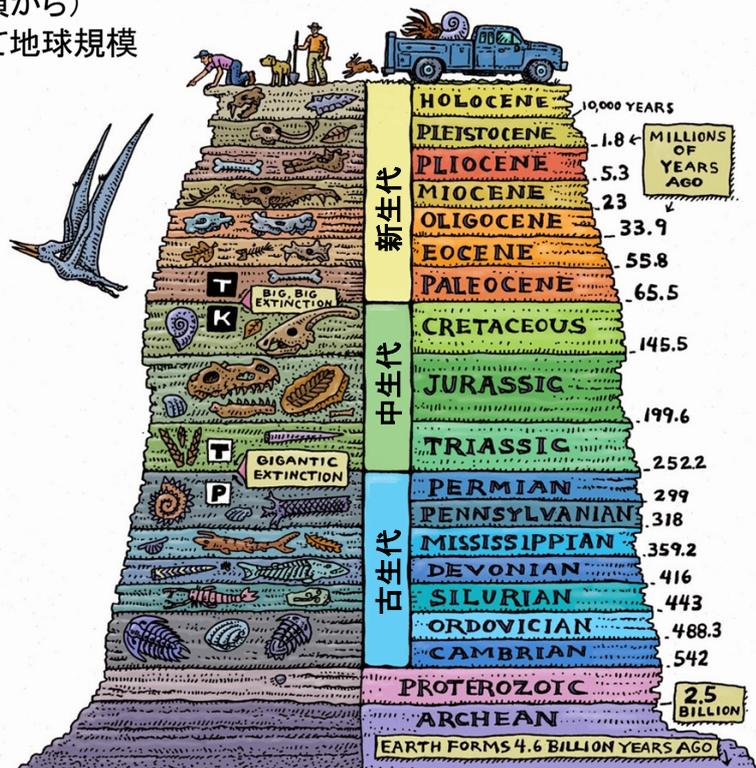
### Geology of mankind

**Paul J. Crutzen**  
For the past three centuries, the effects of humans on the global environment have escalated. Because of these anthropogenic emissions of carbon dioxide, global climate may depart significantly from natural behaviour for many millennia to come. It seems appropriate to assign the term 'Anthropocene' to the present, in many ways human-dominated, geological epoch, supplementing the Holocene — the warm period of the past 10-12 millennia. The Anthropocene could be said to have started in the latter part of the eighteenth century, when analyses of air trapped in polar ice showed the beginning of growing global concentrations of carbon dioxide and methane. This date also happens to coincide with James Watt's design of the steam engine in 1764.  
Mankind's growing influence on the environment was recognized as long ago as 1873, when the Italian geologist Antonio Stoppani spoke about a 'new sulfate force' which in power and universality may be compared to the greater forces of earth.

referring to the "anthropogenic era". And in 1926, V. I. Vernadsky acknowledged the increasing impact of mankind: "The direction in which the process of evolution must proceed, namely towards increasing consciousness and thought, and forms having greater and greater influence on their surroundings." Teilhard de Chardin and Vernadsky used the term 'noosphere' — the 'world of thought' — to mark the growing role of human brain-power in shaping its own future and environment.  
The rapid expansion of mankind in numbers and per capita exploitation of Earth's resources has continued apace. During the past three centuries, the human population has increased tenfold to more than 7 billion and is expected to reach 10 billion in this century. The methane-producing cattle population has risen to 1.4 billion. About 30-50% of the planet's land surface is exploited by humans. Tropical rainforests disappear at a fast pace, releasing carbon dioxide and strongly increasing species extinctions. Dam building and river diversion have become commonplace. More than half of all accessible fresh water is used by mankind. Fisheries remove more than 20%

### concepts

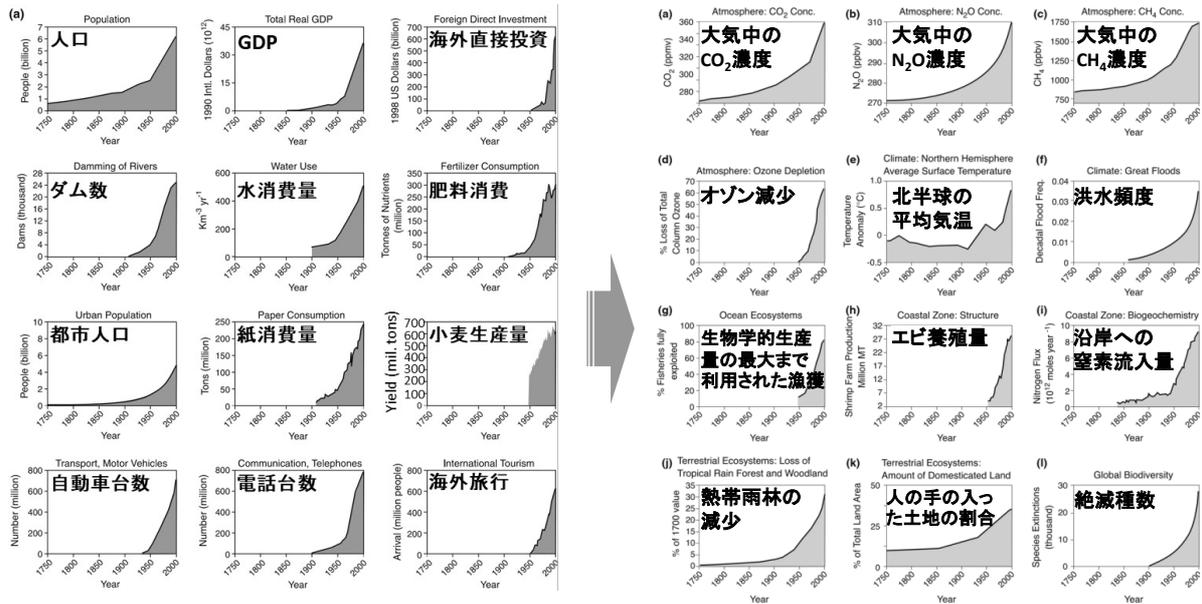
**The Anthropocene**  
The Anthropocene could be said to have started in the late eighteenth century, when analyses of air trapped in polar ice showed the beginning of growing global concentrations of carbon dioxide and methane.  
ozone-destroying properties of the halogens have been studied since the mid-1970s. If it had turned out that chlorine behaved chemically like bromine, the ozone hole would by then have been a global, year-round phenomenon, not just an event of the Antarctic spring. More by luck than by wisdom, this catastrophic situation did not develop.  
Unless there is a global catastrophe — a meteorite impact, a world war or a pandemic — mankind will remain a major environmental force for many millennia. A daunting task lies ahead for scientists and engineers to guide society towards environmentally sustainable management during the era of the Anthropocene. This will require appropriate human behaviour at all scales, and may well involve internationally accepted, large-scale geo-engineering pro-



Artwork by Ray Trollを一部訳出

# 過去250年の人間活動の拡大と環境の変化

人口増加や近代化を背景に人間活動が大きく拡大、その一方で環境の劣化も進んできた



横軸は西暦年(1750年~2000年)、縦軸は各指標の単位(例.人口は「人」、GDPは「ドル」)

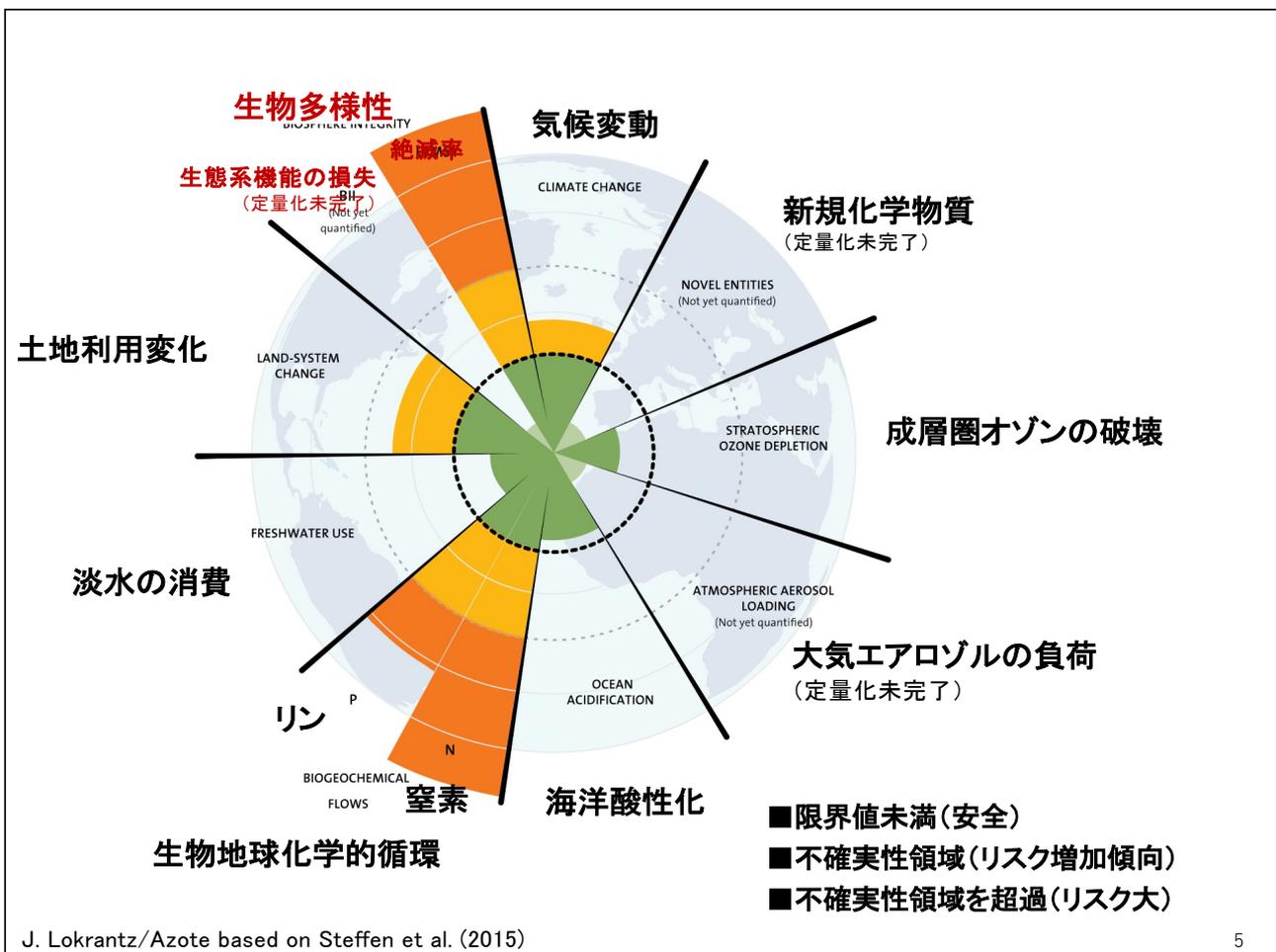
Steffen et al. (2011)を訳出。小麦生産量はFAOSTAT(online)から作成。

# プラネタリー・バウンダリー

地球環境に劇的な変化をもたらす「閾値」の概念を提唱した

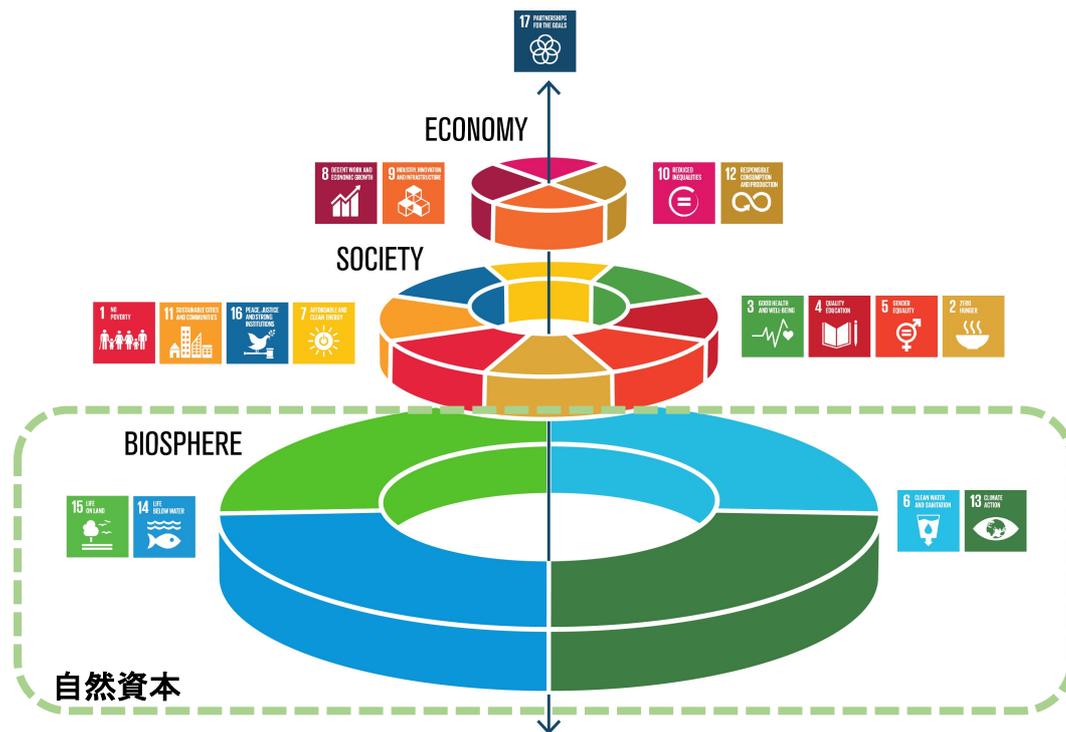
項目	PLANETARY BOUNDARIES					指標
	Earth-system process	Parameters	Proposed boundary	Current status	Pre-industrial value	
気候変動	Climate change	(i) Atmospheric carbon dioxide concentration (parts per million by volume)	350	387	280	大気中のCO <sub>2</sub> 濃度
		(ii) Change in radiative forcing (watts per metre squared)	1	1.5	0	放射強制力の変化
生物多様性	Rate of biodiversity loss	Extinction rate (number of species per million species per year)	10	>100	0.1-1	絶滅率
窒素循環	Nitrogen cycle (part of a boundary with the phosphorus cycle)	Amount of N <sub>2</sub> removed from the atmosphere for human use (millions of tonnes per year)	35	121	0	大気からのN <sub>2</sub> 固定量
リン循環	Phosphorus cycle (part of a boundary with the nitrogen cycle)	Quantity of P flowing into the oceans (millions of tonnes per year)	11	8.5-9.5	-1	海水へのリン流入量
成層圏オゾン	Stratospheric ozone depletion	Concentration of ozone (Dobson unit)	276	283	290	オゾン濃度
海洋の酸性化	Ocean acidification	Global mean saturation state of aragonite in surface sea water	2.75	2.90	3.44	海表面のアラゴナイトの飽和度
淡水利用	Global freshwater use	Consumption of freshwater by humans (km <sup>3</sup> per year)	4,000	2,600	415	人間による淡水消費量
土地利用変化	Change in land use	Percentage of global land cover converted to cropland	15	11.7	Low	耕地に転換された土地被覆
エアロゾル	Atmospheric aerosol loading	Overall particulate concentration in the atmosphere, on a regional basis		To be determined		大気中のばいじん濃度
化学物質汚染	Chemical pollution	For example, amount emitted to, or concentration of persistent organic pollutants, plastics, endocrine disrupters, heavy metals and nuclear waste in, the global environment, or the effects on ecosystem and functioning of Earth system thereof		To be determined		環境中に排出・蓄積された化学物質量, それによる生態系への影響, 地球システムの機能への影響等

Rockstrom et al. (2009)



## SDGsのゴールの階層関係

生物圏/自然資本の健全性が社会・経済目標の達成の基礎に



# 自然資本 (Natural Capital) とは何か？

## • Natural Capital Committee (2014)

自然資本とは、生態系サービスのフローではなく、ストックであり、生物多様性とは異なり、生物的 (Bio) なものだけでなく非生物的 (Abiotic) (非生物: 土壌, 大気, 水, 光等) なものを含む。

“We propose that it (natural capital) is: a stock (rather than the flow of ecosystem services it provides); it includes biotic (生物) and abiotic (非生物: 土壌, 大気, 水, 光等) elements (as opposed to only biodiversity)”

## • World Forum on Natural Capital

- 自然資本とは、地質、土壌、空気、水、そしてすべての生物を含む、世界の自然資産のストックと定義することができる。
- “Natural Capital can be defined as the world’s stocks of natural assets which include geology, soil, air, water and all living things.”

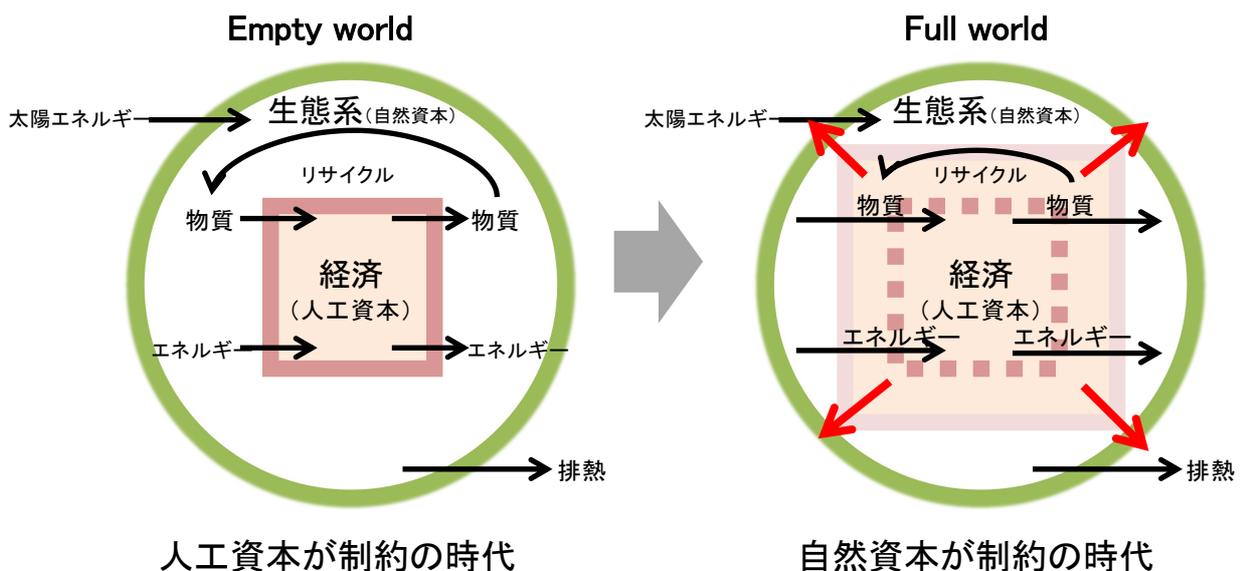
## • UNU-IHDP and UNEP (2014)

“自然資本: 人間に直接または生産プロセスを通じて福利をもたらすことができる自然界のあらゆるもの (生物のおよび非生物的)”

“Natural capital: everything in nature (biotic and abiotic) capable of providing human beings with well-being, either directly or through the production process” (from Glossary)

7

# 人と自然の関係のとらえ方の変化



# 生態系サービスとは何か？

- 生態系サービス (Ecosystem Services)
  - 古くからある概念
  - 「自然の恵み」や「公益的機能」、「多面的機能」等と呼ばれてきた
- 著名な先行研究 Costanza et al. (1997)
  - 既往研究やオリジナルの計算作業をもとに、全世界を対象に17の生態系サービスの経済的価値を評価
  - 生態系サービス
    - 生態系により人類に直接・間接に便益をもたらす財(例.食料)とサービス(例.廃棄物同化)の総称

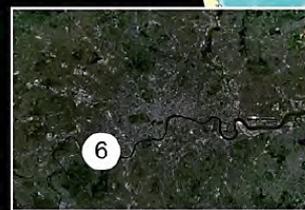


## 先進世界の都市に対する生態系の便益 -英国、ロンドン首都圏の事例- (消費地ベース)

**① 医薬品 (マダガスカル)**  
 ロンドンには白血病あるいはリンパ腫に苦しむ子どもが392人いると推定されている。もし今が1970年だとしたら、そのうちの127人しか助からないだろう。しかし、マダガスカルのツルニチニチンから抽出されたピンプラスチンおよびピンクリスチンを使った治療薬が開発されたため、現在はそのうち312人の子どもが生存すると期待されている。

**② 魚類 (北海)**  
 ロンドン市民は毎年7万2,000tの魚を消費するが、それらの多くは、北海とともに世界で最も漁獲量の多い太平洋沿岸海域からも輸入されている。

**③ コーヒー (ベトナム)**  
 ロンドンでは毎年18億杯ものコーヒーが消費されている。コーヒーは原油に次いで世界で最も多く取引される商品だが、熱帯雨林から来る在来種のミツバチが(受粉を助けることで)、隣接するコーヒー園での収穫を20%増加させて、農家が世界のコーヒー需要を満たすのを助けている。およそ25%のイギリスのコーヒーはベトナムから輸入されている。



**④ 洪水関連 (マダガスカル)**  
 ロンドンでは、120万人もの人が氾濫原に住んでいるので、海面上昇によるリスクが増大している。ロンドンで毎年5,300万tの二酸化炭素が排出され、地球温暖化を加速しているが、その一方で、マダガスカルのマニアラ国立公園の熱帯雨林は、年間4,400万tの二酸化炭素を吸収している。

**⑤ 存在価値 (インドネシア、シェラレオネ)**  
 12万人の会員を抱えるロンドンの王立鳥類保護協会は、イギリス国内200カ所の保護地域に加えて、インドネシアで10万1,000ha、シェラレオネで7万5,000haの森林の保護活動を進めている。



**⑥ 肉体的・精神的健康 (ロンドン)**

万2,500人の10歳以下の注意欠陥・多動性障害の子どもがおり、それらの子どもは、学校をやめたり、犯罪に関わりたりする「可能性が高い。自然とふれあう機会(毎年10万人が訪れるロンドン湿地センターなど)を与えられた子どもは症状に30%の改善が見られるという。



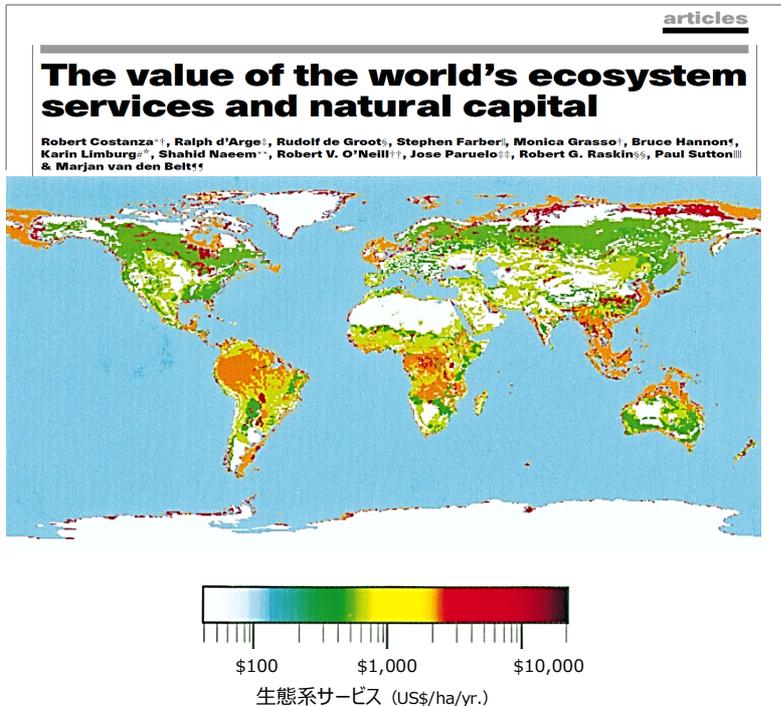
# Costanzaら(1997)が評価対象とした生態系サービス

Table 1 Ecosystem services and functions used in this study

Number	Ecosystem service* 生態系サービス	cosystem functions 生態系機能	Examples 例
ガス調整	1 Gas regulation	Regulation of atmospheric chemical composition.	CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> balance, O <sub>3</sub> for UVB protection, and SO <sub>x</sub> levels.
気候調整	2 Climate regulation	Regulation of global temperature, precipitation, and other biologically mediated climatic processes at global or local levels.	Greenhouse gas regulation, DMS production affecting cloud formation.
災害調整	3 Disturbance regulation	Capacitance, damping and integrity of ecosystem response to environmental fluctuations.	Storm protection, flood control, drought recovery and other aspects of habitat response to environmental variability mainly controlled by vegetation structure.
水調整	4 Water regulation	Regulation of hydrological flows.	Provisioning of water for agricultural (such as irrigation) or industrial (such as milling) processes or transportation.
水供給	5 Water supply	Storage and retention of water.	Provisioning of water by watersheds, reservoirs and aquifers.
土壌浸食制御・堆積物保持	6 Erosion control and sediment retention	Retention of soil within an ecosystem.	Prevention of loss of soil by wind, runoff, or other removal processes, storage of silt in lakes and wetlands.
土壌生成	7 Soil formation	Soil formation processes.	Weathering of rock and the accumulation of organic material.
栄養塩循環	8 Nutrient cycling	Storage, internal cycling, processing and acquisition of nutrients.	Nitrogen fixation, N, P and other elemental or nutrient cycles.
廃棄物処理	9 Waste treatment	Recovery of mobile nutrients and removal or breakdown of excess or xenic nutrients and compounds.	Waste treatment, pollution control, detoxification.
送粉	10 Pollination	Movement of floral gametes.	Provisioning of pollinators for the reproduction of plant populations.
生物制御	11 Biological control	Trophic-dynamic regulations of populations.	Keystone predator control of prey species, reduction of herbivory by top predators.
生息域	12 Refugia	Habitat for resident and transient populations.	Nurseries, habitat for migratory species, regional habitats for locally harvested species, or overwintering grounds.
食料生産	13 Food production	That portion of gross primary production extractable as food.	Production of fish, game, crops, nuts, fruits by hunting, gathering, subsistence farming or fishing.
資材供給	14 Raw materials	That portion of gross primary production extractable as raw materials.	The production of lumber, fuel or fodder.
遺伝資源	15 Genetic resources	Sources of unique biological materials and products.	Medicine, products for materials science, genes for resistance to plant pathogens and crop pests, ornamental species (pets and horticultural varieties of plants).
レクリエーション	Recreation	Providing opportunities for recreational activities.	Eco-tourism, sport fishing, and other outdoor recreational activities.
文化	17 Cultural	Providing opportunities for non-commercial uses.	Aesthetic, artistic, educational, spiritual, and/or scientific values of ecosystems.

\*We include ecosystem 'goods' along with ecosystem services.

## 全世界の生態系サービスの経済価値

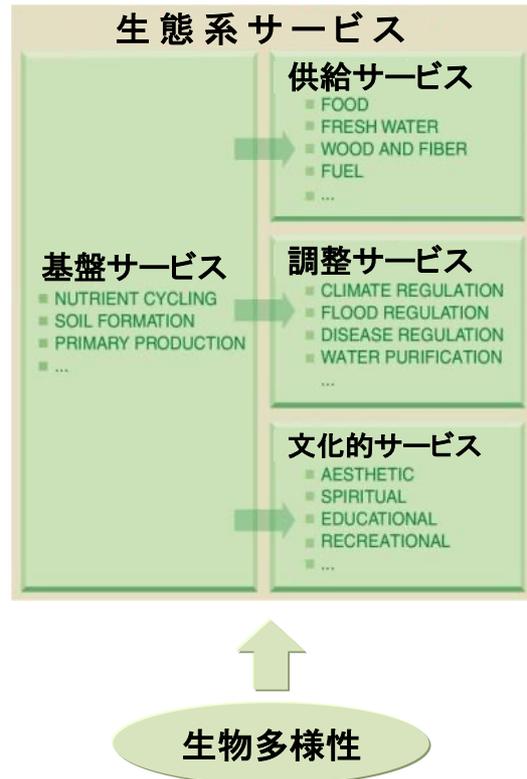


- 17種類の生態系サービスの価値は全世界で毎年16~54兆ドル(平均33兆ドル)
- 当時の世界全体のGDP約18兆ドルの1~3倍に相当

- 2014年の論文"Changes in the global value of ecosystem services"で内容をアップデート。
- 生態系サービスの価値は125兆ドル/年(物価上昇、土地利用・被覆等の変化を考慮)
- 1997~2011年の間に土地利用変化により生態系サービスが年4.3~20.2兆ドル失われている(4.3兆ドルは面積変化のみを考慮した場合の値)

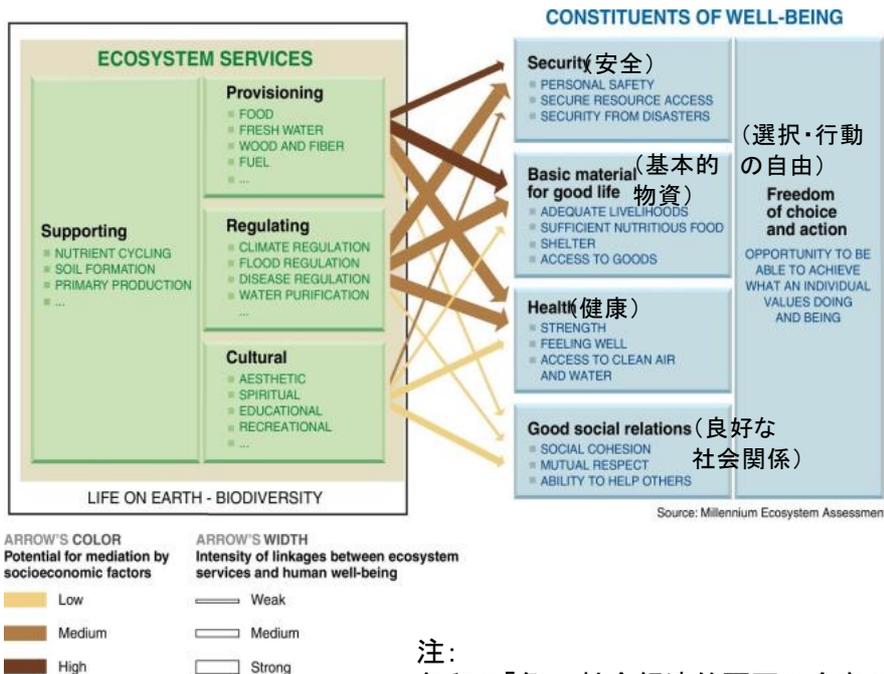
# MAにおける生態系サービスの分類

- **供給サービス (provisioning services)**
  - 食料、燃料、木材、繊維、薬品、水等の供給
- **調整サービス (regulating services)**
  - 気候調節、洪水制御、疾病制御、水質浄化等
- **文化的サービス (cultural services)**
  - 美観、精神的充足、教育、レクリエーション、宗教、文化等
- **基盤サービス (supporting services)**
  - 光合成による酸素の生成、土壌形成、栄養循環、水循環等



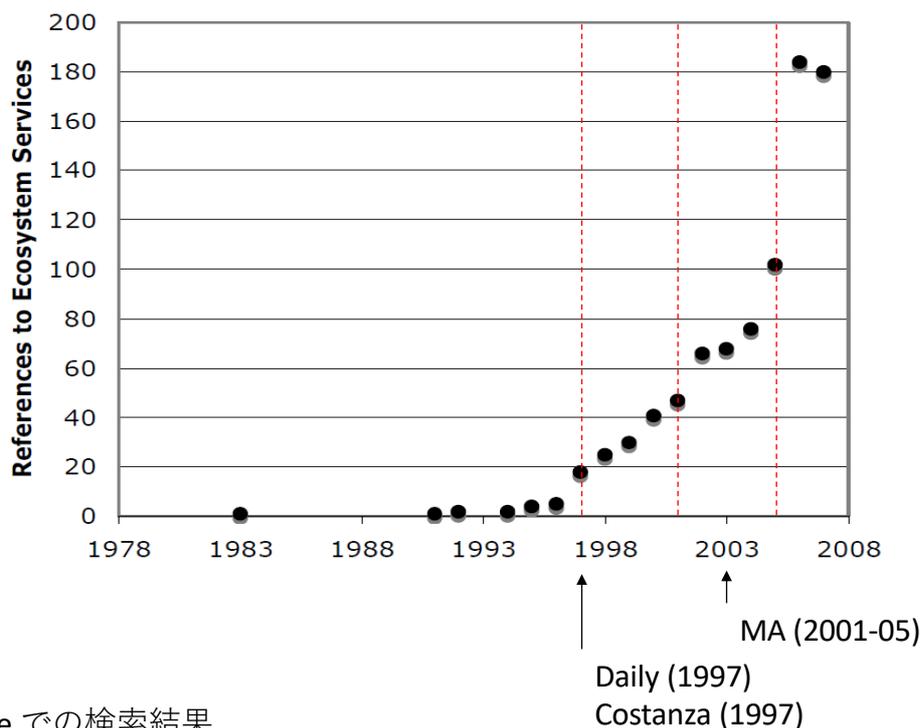
# 生態系サービスは人間の福利を支えている

MAは生態系サービスと人間の福利の相互関係を明示することを通じて、生物多様性保全の議論を大きく転換



注：  
矢印の「色」 社会経済的要因の介在の可能性  
矢印の「幅」 生態系サービスとHWBの関係の強さ

# 「生態系サービス」への関心の高まり



Web of Science での検索結果

Fisher et al. (2009)

# 資本と生態系サービス

生態系サービスのフローを生み出すためには、自然資本だけでなく、人為的な資本(物的、人的、社会関係、文化、金融)の組み合わせが必要  
 Combined social-ecological system

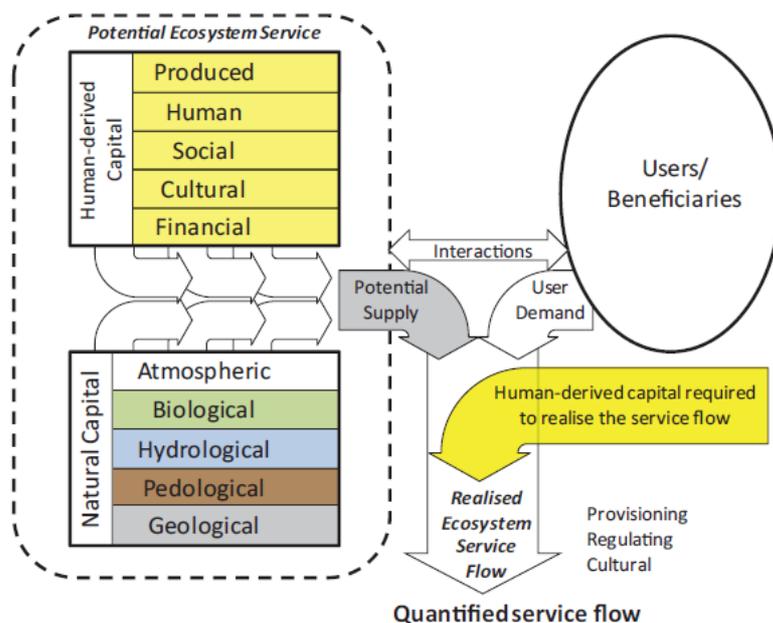
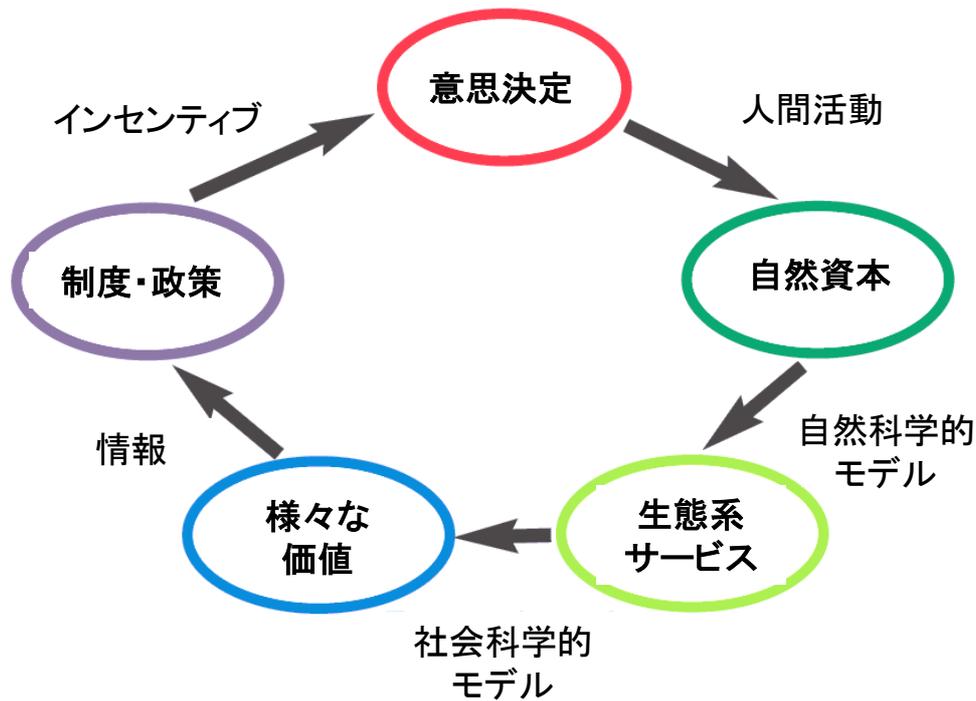


Fig. 3. Different forms of human-derived capital and natural capital(subdivided after Robinson et al.(2013)) co-produce potential ecosystem services, which in combination with demand from users/beneficiaries then produce a flow of 'realised' ecosystem services.

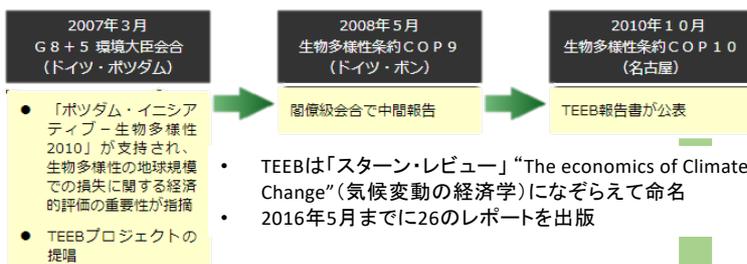
# 自然資本・生態系サービスを意思決定に組み込む



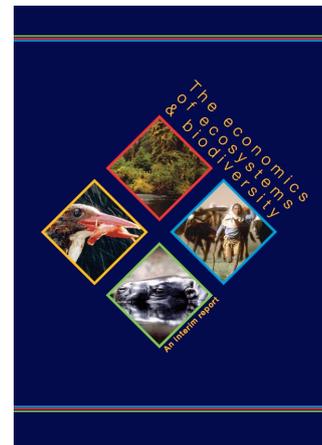
Daily et al. (2009)を訳出, 加筆・修正

# 自然資本・生態系サービスの経済評価の取組み

The Economics of Ecosystem and Biodiversity (TEEB), 2007-  
生物多様性と生態系サービスの価値の経済評価, 可視化を通じた,  
生物多様性や生態系サービスの主流化を目指す



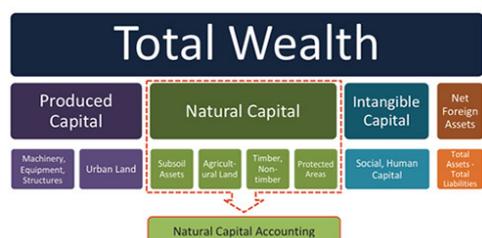
(生物多様性センター, 2016)



The **W**ealth **A**ccounting and **V**aluation of **E**cosystem **S**ervices (WAVES) Global Partnership Program (世界銀行), 2010-

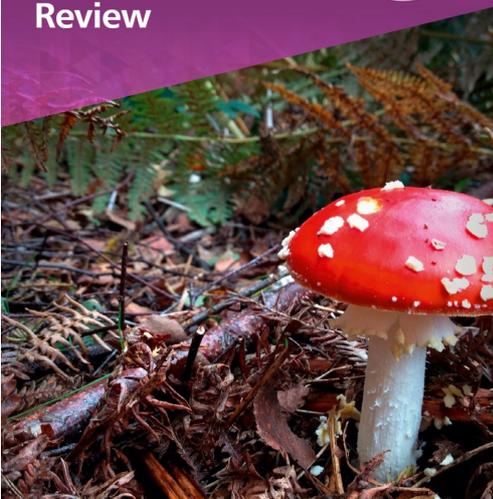
- 生物多様性や生態系サービスの価値を国の会計制度に組み入れ, 各国の経済政策や開発政策に反映させることを目指す国際パートナーシップ

FIGURE 1. COMPREHENSIVE WEALTH COMPOSITION



Cf. The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review (2021.2)  
Cf. 2021年3月に環境・経済統合勘定の生態系勘定に関する統計基準として System of Environmental-Economic Accounting -- Ecosystem Accounting (SEEA-EA) が国連で正式採択

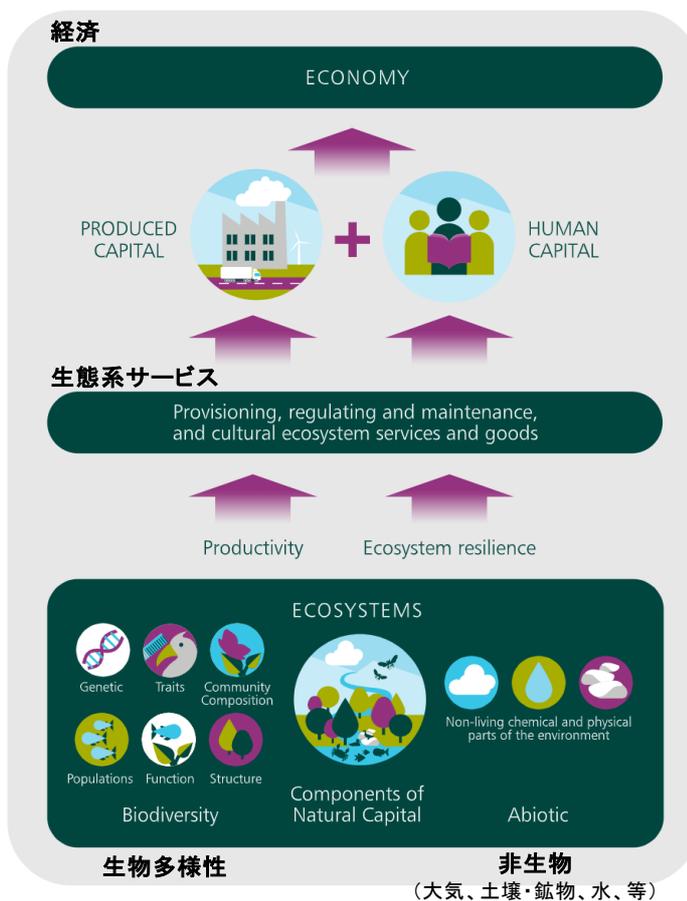
## The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review



### 生物多様性の経済学：ダスグプタ・レビュー

経済開発が持続可能なものであるかを判断するために、自然資本を含む「包括的な富」(Inclusive wealth) 指標を用いることを提案。自然に対する需要がその供給能力を上回ることを抑え、自然の供給能力を現在のレベルよりも高めることを目指す。そのために、金融や教育システムの変革が必要であることを指摘。

Figure 3 Links From Biodiversity to the Economy



19

## 生物多様性・自然資本に関する国際イニシアティブ

### • CDP (Carbon Disclosure Project)

- 企業等が環境への影響を管理するための国際的な情報開示プロジェクト。ロンドンに拠点をもつ国際NGPであるCDPが運営。
- もともとは温室効果ガスの排出量や、気候変動などに対する取り組みの情報公開に焦点。年に一度、調査対象企業に質問書を送付し、各企業から集計した回答内容を公開
- 現在は気候変動の他に、「水」、「森林」、「生物多様性」(2022～)等の質問がある。
- CDPの調査は2022年からSBTNが提示する「SBTs for Nature」とも連動

### • SBT (Science-Based Targets) for Nature

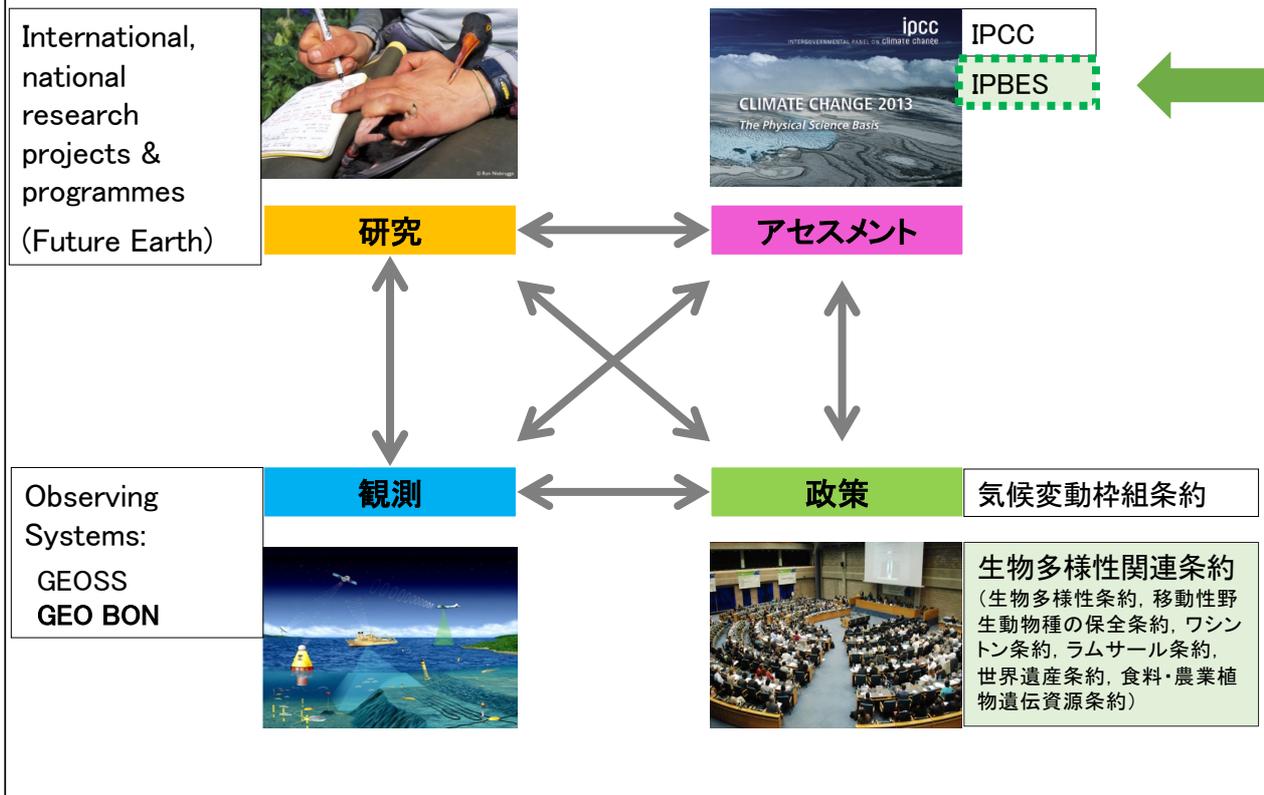
- 企業の中長期的な温室効果ガス削減目標が、パリ協定が求める水準 (1.5°C水準) に整合したものになるよう促す枠組みであるSBTs (温室効果ガス削減目標が科学的根拠に基づいているか検証し、認定を付与) を、自然環境に関わるあらゆる側面 (然資本 (生物多様性、気候、土地、水、海洋等) の) を対象に拡張

### • TNDF (Taskforce on Nature-related Financial Disclosure; 自然関連財務情報開示タスクフォース)

- 2019年世界経済フォーラム年次総会 (ダボス会議) で着想された自然資本などに関する企業のリスク管理と開示枠組みを構築する国際的組織。2021年6月に設立。
- TCFD (Taskforce on Climate-related Financial Disclosure; 気候関連財務情報開示タスクフォース) をモデル。TCFDはG20の要請やパリ協定を受けて2015年に設立。TCFDは、企業等に対し、気候変動関連リスク及び機会に関する項目 (ガバナンス、戦略、リスク管理、指標・目標) の情報開示を推奨。

20

# IPBESの設立と期待される役割



## 2019年5月にIPBESの地球規模評価報告書が公表

**BBC NEWS JAPAN**

人類のせいで「動植物100万種が絶滅危機」= 国連主催会合

**CNN**

生物100万種が絶滅の恐れ、「主犯」は人間 国連機関報告書

**朝日新聞 DIGITAL**

「動植物100万種が絶滅危機」 IPBESが報告書

世界132カ国の政府が参加する「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)は6日、「すでに動植物約100万種が絶滅の危機にある」などと警告する、政策立案者向けの報告書の要約を公表した。自然の保全と再生、持続的利用のために、

**毎日新聞**

「絶滅危機100万種」人間活動にも深刻な影響 農作物生産低下の恐れ

世界中の科学者が参加する組織「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)は6日、約100万種の動植物が絶滅危機に直面し、その多くは今後数十年で絶滅する可能性があるとの報告書を公表した。生物や自然の恵みが人間の手で危機的な状況に陥っていると指摘し

**THE SANKEI NEWS**

世界100万種動植物に絶滅危機 プラごみ40年で10倍

【パリ=三井美奈】国連教育科学文化機関(ユネスコ)本部で6日、世界で約100万種の動植物が絶滅の危機にひんしているとする政府間組織の報告書が発表された。多くは「数十年内」に絶滅の恐れがあるとされている。

同組織は、日本など約130カ国が参加する「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)」。各国の科学者が地球環境や生物の多様性について予測をまとめた。

# 過去50年間でわれわれの生活は物質的には豊かになった しかし、その一方で多くの自然の恵みを失ってきた

## 1970年以降の自然の恵みの世界的傾向

	過去50年の世界の傾向	地域ごとの傾向の一致	選ばれた指標	
環境プロセスの調節	1 生息地の創出と維持	↓	○	・適切な生息地の面積 ・生物多様性の完全度
	2 花粉媒介と種子や繁殖体の散布	↓	○	・花粉媒介生物の多様性 ・農地にある自然生息地の面積
	3 大気質の調節	↘	↕	・生態系による大気汚染物質の貯留量と排出防止量
	4 気候の調節	↘	↕	・生態系による温室効果ガスの排出削減と貯留量
	5 海洋酸性化の調節	→	↕	・海洋環境、陸域環境による炭素貯留量
	6 淡水の量、位置とタイミングの調節	↘	↕	・生態系が大気水、地表水、地下水の分配に与える影響
	7 淡水と海水の水質の調節	↘	○	・水の成分を超過または付加する生態系の面積
	8 土壌と堆積物の形成、保護と浄化	↘	↕	・土壌有機炭素量
	9 災害と極端現象の調節	↘	↕	・災害を吸収、緩和する生態系の能力
	10 有害な生物や生物学的プロセスの調節	↓	○	・農地にある自然生息地の面積 ・感染症媒介生物の多様性
物質と支援	11 エネルギー	↘	↕	・農地面積—バイオエネルギー生産に利用できる土地 ・森林面積
	12 食料と飼料	↘	↕	・農地面積—食料と飼料の生産に利用できる土地 ・海洋漁業資源量
	13 物質と支援 <sup>7</sup>	↘	↕	・農地面積—物質の生産に利用できる土地 ・森林面積
非物質	14 薬用、生物化学、遺伝資源	↘	○	・地域で知られ、使われている薬用の生物種の割合 ・系統的多様性
	15 学習と発想(イノベーション)	↓	○	・自然の近くに住む人々の数 ・学習材料となる生命の多様性
	16 身体的、心理的経験	↘	○	・自然または伝統的なランドスケープとシースケープの面積
	17 アイデンティティの拠り所	↘	○	・土地利用と土地被覆の安定性
	18 選択肢の維持	↓	○	・種の生存可能性 ・系統的多様性

評価に用いられた27の指標のうち、

- ・ **食料・飼料、バイオエネルギー、繊維等の物資の生産が飛躍的に増大**
- ・ 他方で、大気や水質、気候の調節、生息地の提供など**多くの生態系サービスが劣化・減少**

世界の傾向

※結果の信頼度に応じて矢印の背景色が異なる

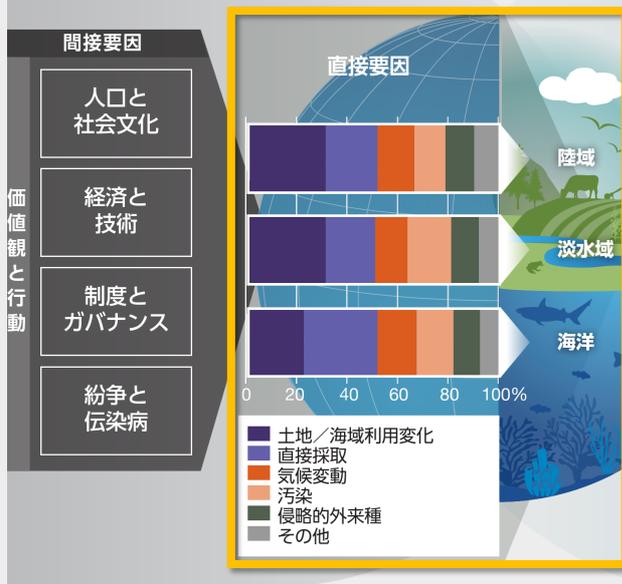
結果の信頼度

- 十分確立している
- 確立しているが不十分
- 競合する解釈あり

地域ごとの傾向 ○ 一致 ↓ ↑ 異なる

IPBES (2019) 23

## 変化要因



## 自然劣化の例

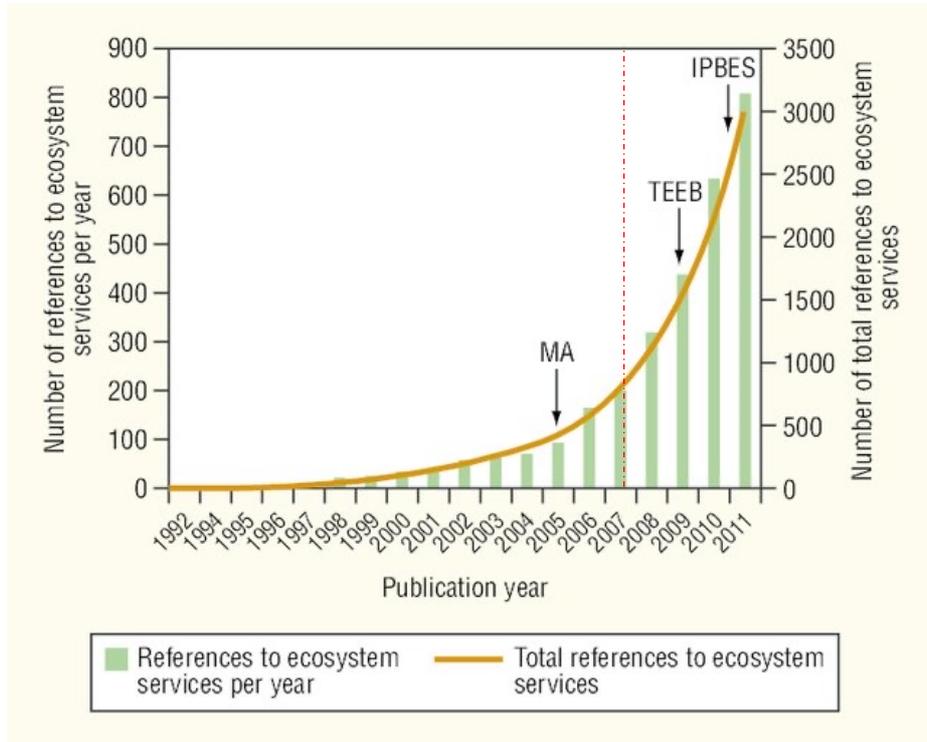


\* 先史時代以降

## 地球規模でみた生物多様性の低下を引き起こす直接的要因

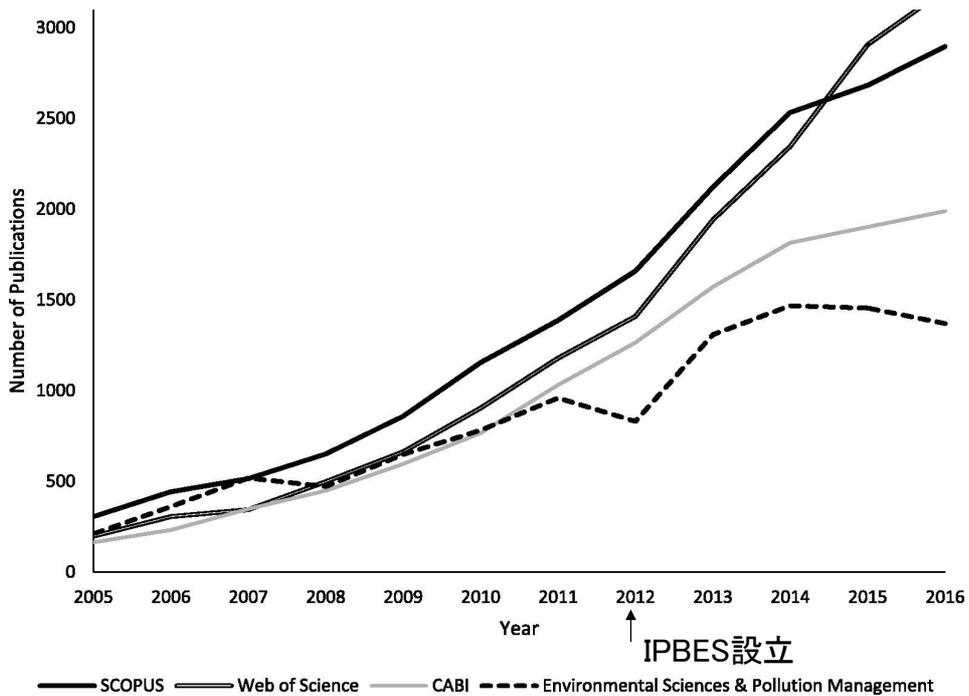
- 陸域 土地利用変化 > 直接採取 > 気候変動 > 汚染 > 侵略的外来種
- 淡水域 土地利用変化 > 汚染 > 直接採取 > 気候変動 > 侵略的外来種
- 海洋 直接採取 > 海洋の利用変化 > 汚染 > 気候変動 > 侵略的外来種

# 「生態系サービス」への関心の高まり



Martín-López (2013)

# 「生態系サービス」への関心の高まり



McDonough et al. (2017)

# 日本における生物多様性の低下の分類

## 第1の危機(開発)

- **人間活動や開発**が直接的にもたらす種の減少・絶滅や生息・生育環境の縮小, 消失

## 第2の危機(アンダー・ユース)

- **自然に対する人間の働きかけが縮小・撤退**することによる里地・里山などの環境の質の変化, 種の減少

## 第3の危機(外来種・化学物質)

- **外来種, 化学物質**など人為的に持ち込まれたものによる生態系の攪乱

## 第4の危機(気候変動の危機)

- **気候変動の進行**が種の絶滅や脆弱な生態系の崩壊などに対して与える影響

新・生物多様性国家戦略(2002), 第3次生物多様性国家戦略(2007), 生物多様性国家戦略2010(2010), 生物多様性国家戦略2012-2020(2012)

# 生物多様性及び生態系サービスの総合評価



## JBO3

Japan Biodiversity Outlook 3

生物多様性及び生態系サービスの総合評価  
2021 [政策決定者向け要約報告書]



評価項目	評価結果			
	過去 50 年～ 20 年の間	過去 20 年～ 現在の間	オーバーユース アンダーユース <sup>注</sup>	
供給サービス	農産物	↓	↘	アンダーユース (データより)
	特用林産物	↗	↘	アンダーユース (アンケートより)
	水産物	↗	↘	オーバーユース (データより)
	淡水	-	→	オーバーユース (アンケートより)
	木材	↘	↗	アンダーユース (データより)
	原材料	↘	↘	アンダーユース (データより)
調整サービス	気候の調節	-	↘	-
	大気の調節	-	→	-
	水の調節	-	↘	-
	土壌の調節	→	-	-
	災害の緩和	↗	→	-
生物学的コントロール	-	↘	-	
文化的サービス	宗教・祭り	↓	↘	-
	教育	↘	→	-
	景観	-	↘	-
	伝統芸能・伝統工芸	↘	↘	-
観光・レクリエーション	↗	↘	-	
サービス	野生生物による直接的な被害	-	→	-
	健康へのリスク	-	-	-

注: オーバーユース・アンダーユースについては、JBO2 による有識者向けアンケート調査結果も踏まえて整理している。

評価対象	評価結果	凡例				
		増加	やや増加	横ばい	やや減少	減少
定量評価結果		↑	↗	→	↘	↓
定量評価に用いた情報が不十分である場合		↑	↗	→	↘	↓

注: 視覚的イメージによる表記に当たり対象される影響があることに注意が必要である。  
注: 矢印を破線で囲みしている項目は評価に用いた情報が不十分であることを示す。

# 生態系サービスのインターリンケージ

- ある生態系サービスの発揮は、他の生態系サービスの状態とも密接に関係

e.g. 「コメ」(供給サービス)の生産は、上流域の森林がもつ一次生産や土壌形成、水循環、栄養塩循環等の基盤サービスの存在に依存

- インターリンケージの種類

- トレードオフ(trade-off)

- 一方の生態系サービスの増加が他方の生態系サービスの減少を引き起こす
  - e.g. 食料生産(供給)と文化的景観(文化)

- シナジー(synergy)

- 一方の生態系サービスの増加(減少)に呼応する形で他方の生態系サービスも増加(減少)する
  - e.g. 送粉サービス(調整)と食料生産(供給)

## 生物多様性の豊かな国における保護された森林から得られる生態系便益

-マダガスカルのマソアラ国立公園の事例-(産出地ベース)

### ① 医薬品

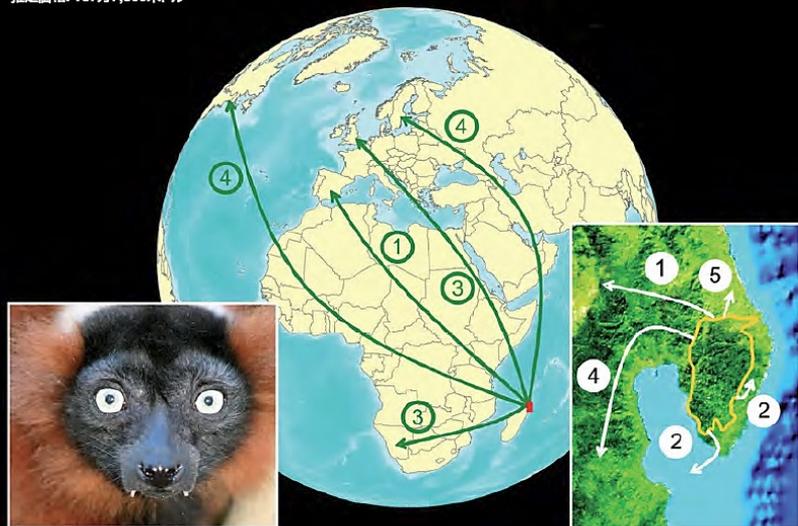
マラガシ-熱帯雨林には、生薬や製薬の開発において大きな可能性を持った多様な植物が生育している。例えば、ツルニチニチソウの一種 (rosy periwinkle) は、マダガスカルでは伝統的な信託療法師に使われ、ヨーロッパでは抗がん剤として使われている薬の原料である。  
推定価格: 157万7,800米ドル

### ② 土壌浸食のコントロール

マソアラなどの森林は土壌を浸食から守っている。それによって、水田や養魚場が土砂に埋もれることを防いでいる。  
推定正味現在価値(NPV): 38万米ドル

### ③ 炭素貯留

森林破壊を回避することで、例えば、ロンドン(海面上昇)やナミビア(気候変動に起因する死亡率の増加)における、気候変動による影響の軽減に役立っている。  
推定正味現在価値(NPV): 1億511万米ドル



### ④ レクリエーション

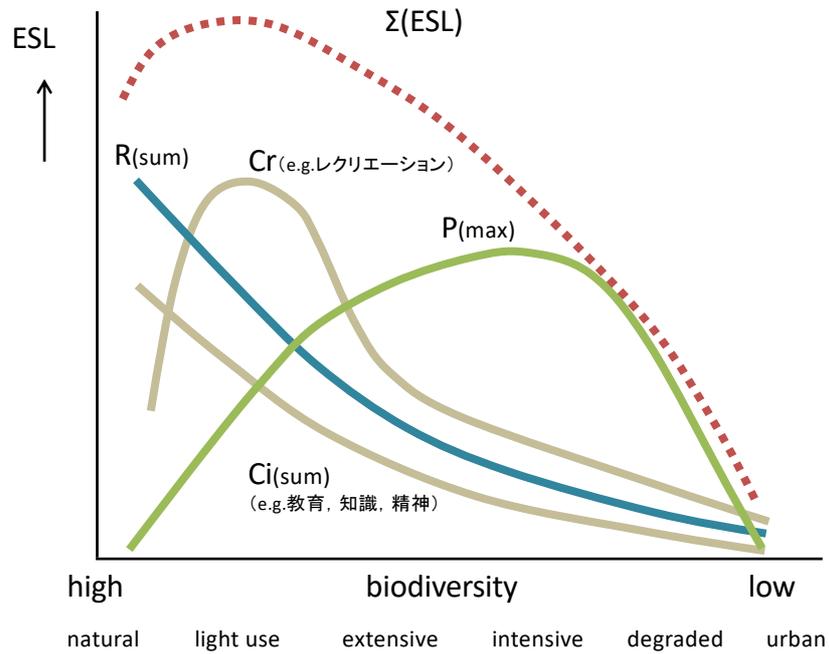
マダガスカルの森林の驚異的な生物多様性は、アカエリマキキツネザル(red-ruffed lemur)などのユニークな種が生存しているため、2006年には3,000人以上の観光客がマソアラ熱帯雨林を訪れた。主としてヨーロッパや北米からの訪問者だったが、37%は地元マダガスカル国内からであった。  
推定正味現在価値(NPV): 516万米ドル

### ⑤ 林産物

マソアラ国立公園近隣の8,000世帯は、食物や薬や建築材、織物など森林の産物を日常生活で利用している。  
推定持続的正味現在価値(NPV): 427万米ドル

# 生態系サービスのトレードオフの概念図(仮説)

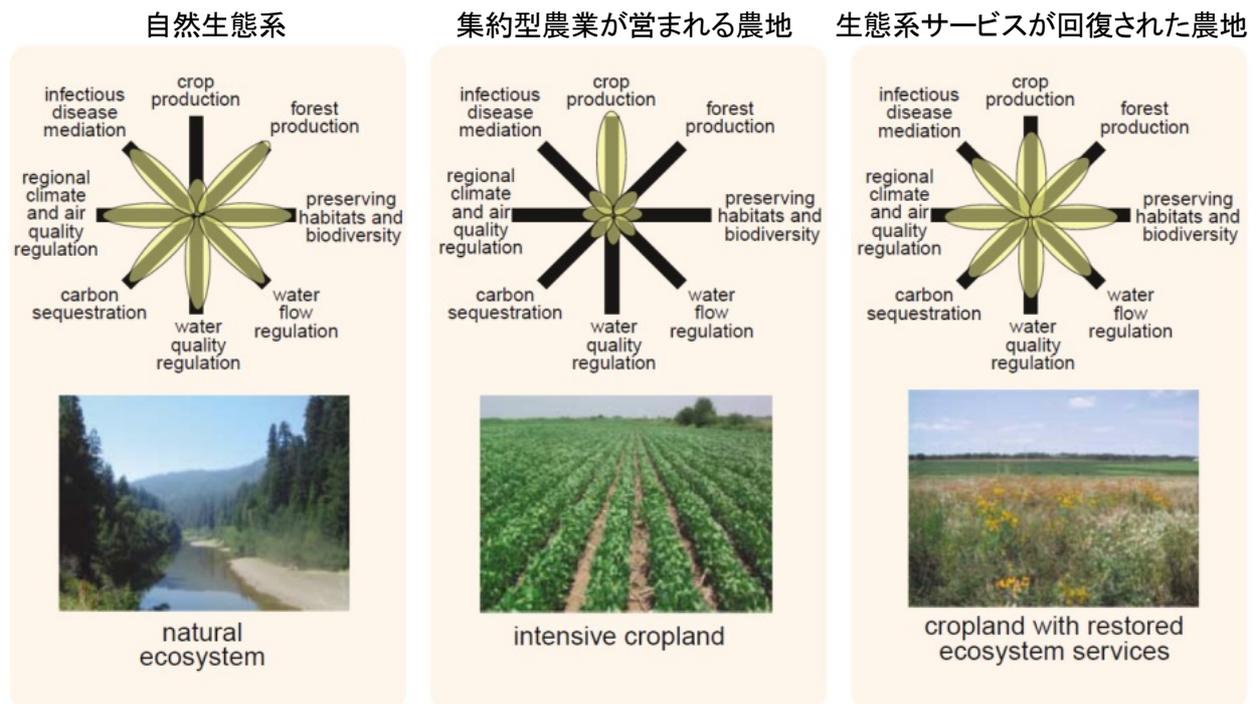
自然資本・生態系サービスは土地利用と密接に関係



de Groot et al. (2010)

# 生態系サービスのトレードオフ評価

ある生態系サービスの増加(向上)は、他の生態系サービスの劣化を伴うことがある



Foley et al. (2005)

# 国内の行政計画における生態系サービスの位置づけ

## 第五次環境基本計画(環境省, 2018)

- 「新たなアプローチとしての「地域循環共生圏」の創造は、農山漁村のためだけにあるのではなく、都市にとっても、農山漁村からの農林水産品や自然の恵み(生態系サービス)等によって自らが支えられているという」
- 「自然環境を保全することは、生態系サービスの持続可能な利用や我が国の産業・生活を支えることにもつながる」

## 生物多様性国家戦略2012-2020(環境省, 2012)

- 「生態系サービスを将来にわたって享受できる自然共生社会を実現する」
- 「生態系サービスの需給でつながる地域を「自然共生圏」として一体でとらえ、...自然共生圏の中で連携や交流を深めていくことも今後の課題」

## 食料・農業・農村基本計画(農林水産省, 2020)

- 「我が国の農業は、国民生活に必要な不可欠な食料を供給する機能を有するとともに、国土保全等の多面的機能を有している」(農業の多面的機能は調整サービス、文化的サービスを指す)

## 農林水産省生物多様性戦略(農林水産省, 2012)

- 「農林水産業が営まれる生態系においても、農林水産物のみならず、水源を涵養かんようする機能や土壌を作り出すことなど多くの生態系サービスを提供していることから、この生態系を持続的に利用することが重要」

## 国土強靱化基本計画(内閣府, 2018)

- 「～ハード対策とソフト対策を組み合わせた防災・減災対策を関係機関が連携して強化する。～自然環境の持つ「グリーンインフラ」としての効果が発揮されるよう考慮しつつ取組を推進する」(調整サービスに該当)

## 第2次国土形成計画(国土交通省, 2015)

- 「水、食料等の資源の供給、伝統食等の地域文化の形成、レクリエーションの場の提供、水質浄化、気候の調節、光合成による酸素の供給、土壌流出及び海岸侵食の防止等の防災・減災機能による国土の保全等の生物多様性ももたらす恵み(生態系サービス)」

## 第五次国土利用計画(国土交通省, 2015)

- 「自然環境と美しい景観等を保全・再生・活用する国土利用については...国民生活の基盤となる生物多様性及び生態系サービスの保全と持続可能な利用を基本とする」

## 第五次社会資本整備計画(国土交通省, 2021)

- 「関係省庁・官民が連携して、利水ダムを含む既存ダムやため池の洪水調節機能の強化、水田等による雨水貯留浸透機能の活用、森林整備・治山対策等を進める。」(調整サービスの強化に該当)

33

# 生態系サービスを取り扱う諸施策

- PES(Payment for Ecosystem services; 生態系サービスへの支払い)
- 認証制度(FSC、MSC、ASC、等)
- 環境税
- 環境配慮型事業
- 自然再生
- ミティゲーション、生物多様性オフセット
- 土地利用計画
- グリーンインフラ
- 生態系を活用した防災・減災

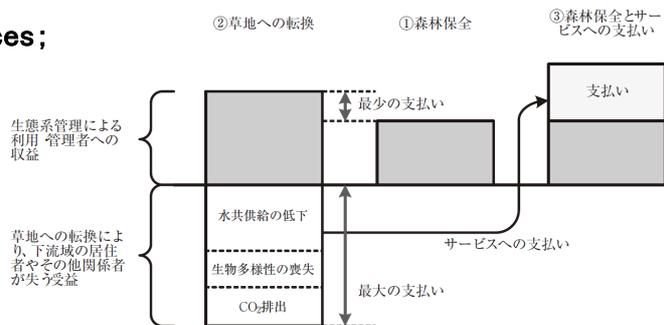


図4-3 PESの模式図

出典: Engel, S., Pagiola, S., and Wunder, S. (2008) Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological Economics*, 65, 663-674 を訳出、一部修正。

34

# グリーン・インフラストラクチャー(GI)

さまざまな定義・・・必ずしも統一的な定義はない

- 社会資本整備や土地利用等のハード・ソフト両面において、**自然環境が有する多様な機能**を活用し、持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくりを進めるもの(国土交通省, 2017)
- **多様な生態系サービス**を提供し生物多様性を保全するように設計・管理された自然及び半自然的領域であり、他の環境的諸特徴を伴う形で戦略的に計画されたネットワーク(欧州委員会, 2013)
- 地域社会が健全な水環境を維持するために選択しうる手法であり、**多様な環境からの利益**を得つつ持続可能な地域社会の維持にも寄与する(米国環境保護庁, 2010)

## 特徴

- 生態系の恵みを活用した社会資本
- 自然・半自然, 人工物が統合的に機能
- さまざまな生態系サービスを生み出している場・空間
- 国土形成・管理のアプローチ

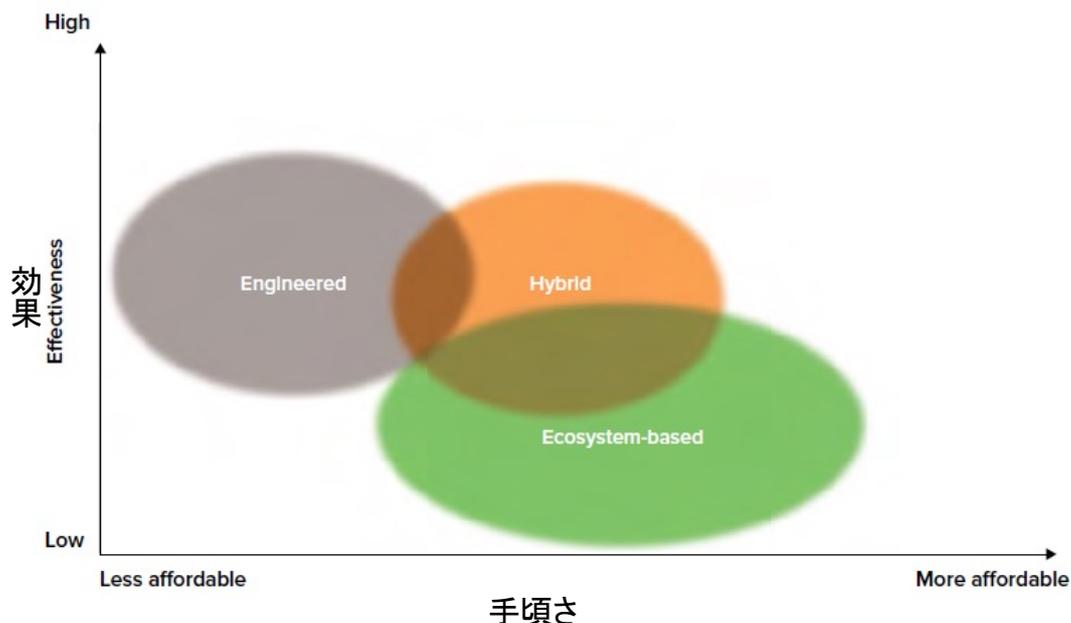
類似概念 (Eco-DRR: Ecosystem-based Disaster Risk Reduction)

- 健全な生態系がもつ防災・減災機能を積極的に活用し災害リスクを低減させる考え
- Cf. Nature-based solutions (NBSs): 自然を基盤とした解決策

35

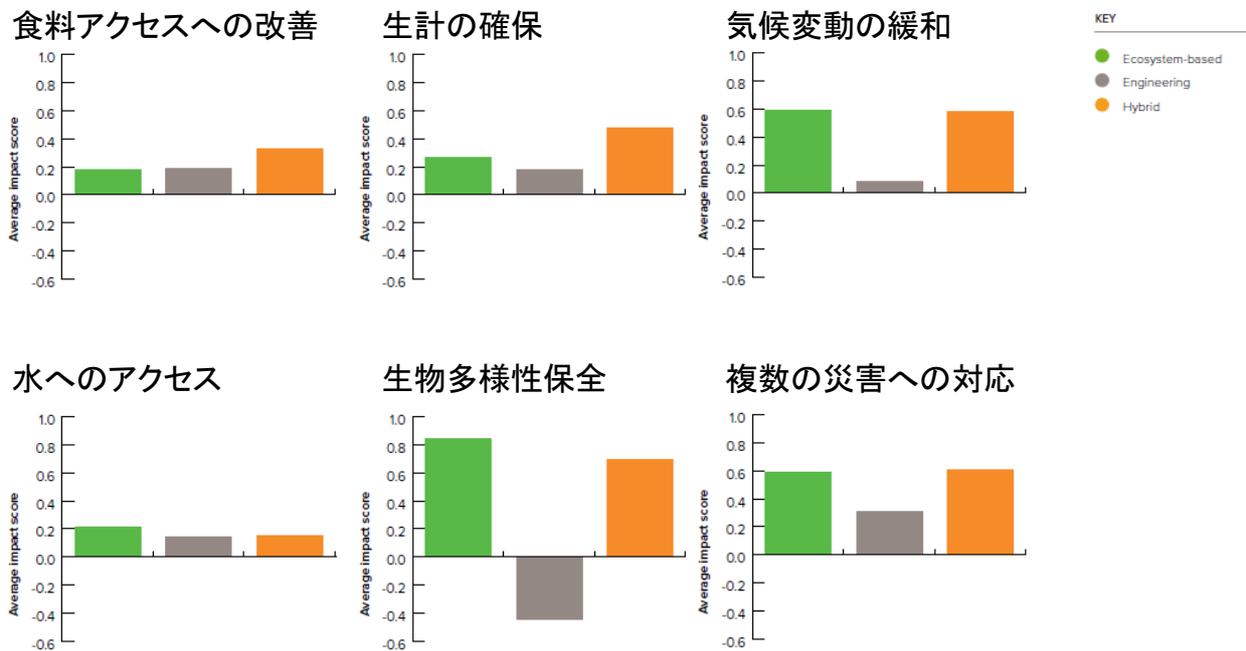
# グリーン・インフラの効用

熱波, 干ばつ, 河川洪水, 沿岸洪水に関するさまざまな対応策を効果や導入のしやすさ(費用)の観点から整理



# 各種インフラ導入による効果

グリーン・インフラやハイブリッド・インフラは導入により多様な二次的効果が期待できる



Source: The Royal Society Science Policy Centre, Resilience to extreme weather, 2014

37

## Nature-based Solutions (Nbs) とは何か？

### 和訳

自然を基盤とした解決策、自然を活用した解決策、自然に根ざした解決策

### 定義

**IUCN** 社会的課題に効果的かつ順応的に対処し、人間の幸福及び生物多様性による恩恵を同時にもたらし、自然の、そして人為的に改変された生態系の保護、持続可能な管理、回復のための行動 (IUCN, 2016)

**EU** 自然に触発、支持された解決策は、費用対効果が高く、環境的、社会的、経済的な利益を同時にもたらし、レジリエンスの構築に役立つ。このような解決策は、地域に適合した、資源効率の高い、体系的な介入を通して、より多くの、より多様な、自然と自然の特徴とプロセスを都市、景観、海景にもたらし (European Commission, online)



© IUCN

# NbSは既存の生態系関連アプローチを包括する概念

Table 4. Categories and examples of NbS approaches

Category of NbS approaches	Examples
Ecosystem restoration approaches 生態系再生	Ecological restoration Ecological engineering Forest landscape restoration
Issue-specific ecosystem-related approaches 気候変動緩和・適応 防災・減災	Ecosystem-based adaptation Ecosystem-based mitigation Climate adaptation services Ecosystem-based disaster risk reduction
Infrastructure-related approaches インフラ	Natural infrastructure Green infrastructure
Ecosystem-based management approaches 管理方策	Integrated coastal zone management Integrated water resources management
Ecosystem protection approaches 生態系保護	Area-based conservation approaches including protected area management

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.) (2016). Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland,

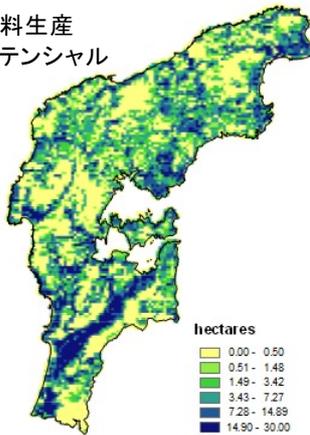
## 都市計画へのNbSの組み込み



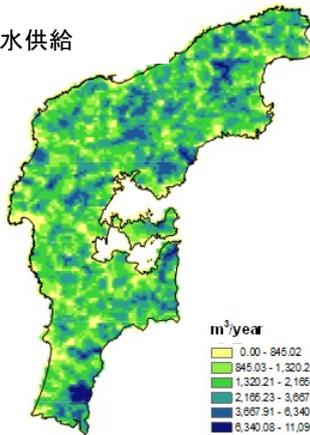
# 国内での評価事例

## 事例1:生態系サービスの空間分布(1997年)

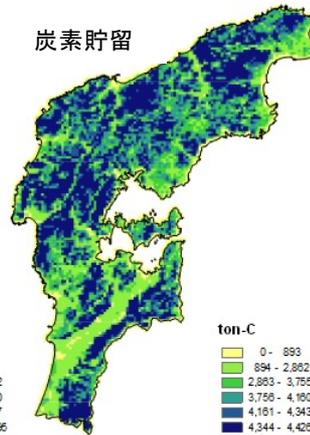
食料生産  
ポテンシャル



水供給

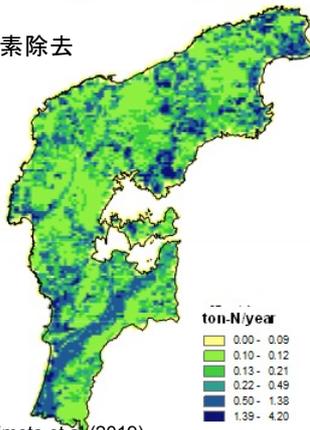


炭素貯留

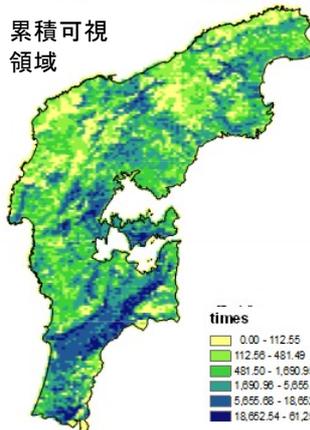


※評価結果を500m  
メッシュで集計

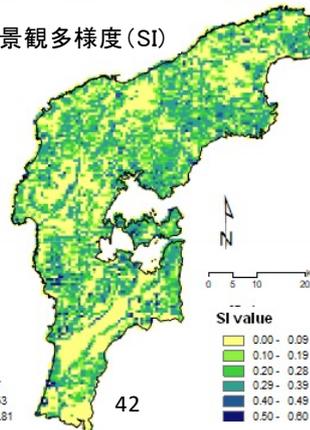
窒素除去



累積可視  
領域



景観多様度 (SI)



# 事例2: 文化的サービスの可視化

石垣市にて住民、旅行者を対象にして調査

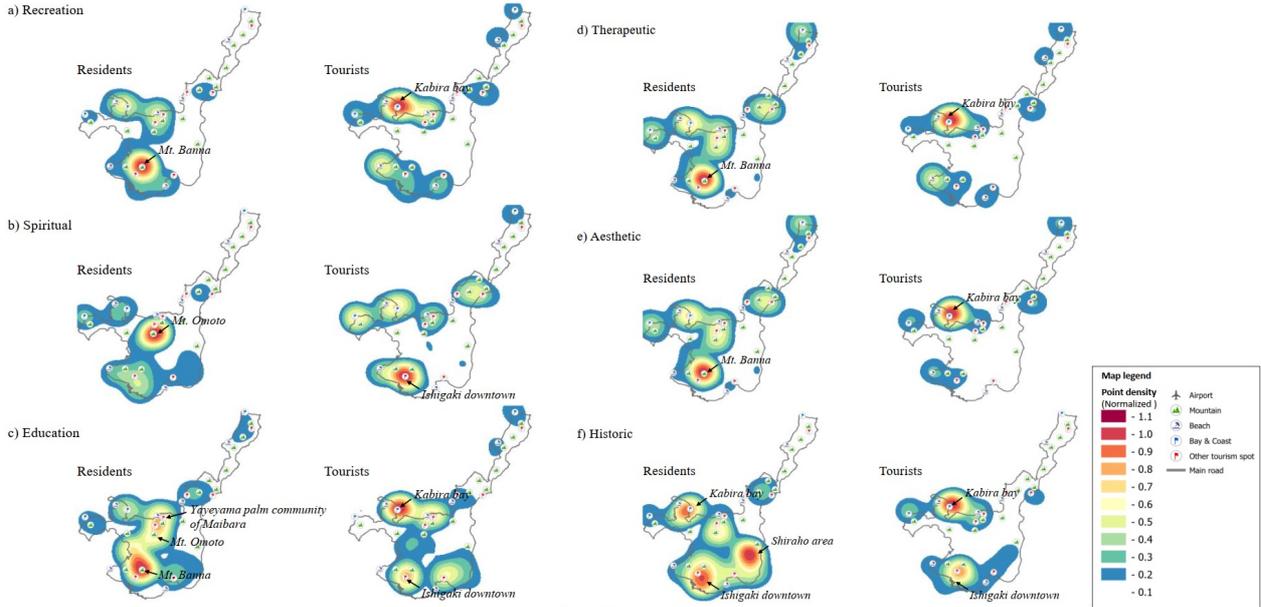


Figure 5 Maps showing kernel density surface of each cultural ecosystem service for residents and tourists. Kernel density surfaces were calculated with 100-meter grid and 3,500-meter search radius.

Tajima et al. (under review)

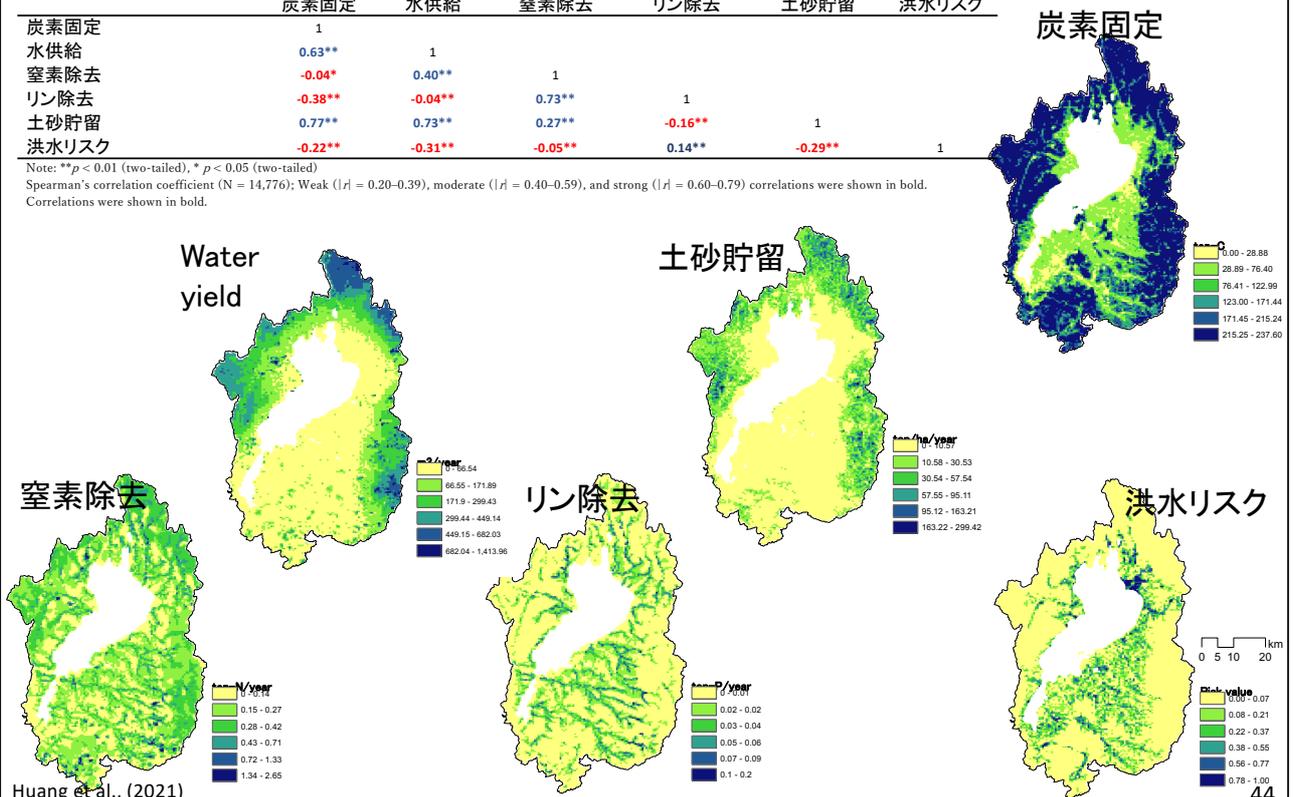
# 事例3: 生態系サービスのシナジー&トレードオフ

生態系サービス間のシナジー(青)・トレードオフ(赤)

	炭素固定	水供給	窒素除去	リン除去	土砂貯留	洪水リスク
炭素固定	1					
水供給	0.63**	1				
窒素除去	-0.04*	0.40**	1			
リン除去	-0.38**	-0.04**	0.73**	1		
土砂貯留	0.77**	0.73**	0.27**	-0.16**	1	
洪水リスク	-0.22**	-0.31**	-0.05**	0.14**	-0.29**	1

Note: \*\* $p < 0.01$  (two-tailed), \*  $p < 0.05$  (two-tailed)

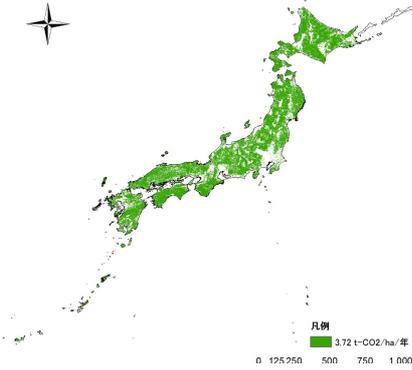
Spearman's correlation coefficient ( $N = 14,776$ ); Weak ( $|r| = 0.20-0.39$ ), moderate ( $|r| = 0.40-0.59$ ), and strong ( $|r| = 0.60-0.79$ ) correlations were shown in bold. Correlations were shown in bold.



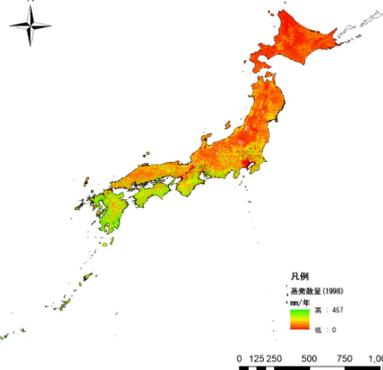
Huang et al., (2021)

# 事例4: 全国の生態系サービス (1998年)

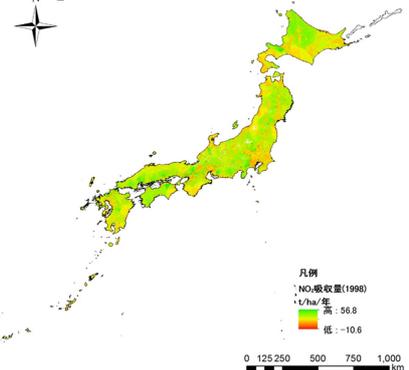
森林による炭素吸収量 (t-CO<sub>2</sub>/ha/年)



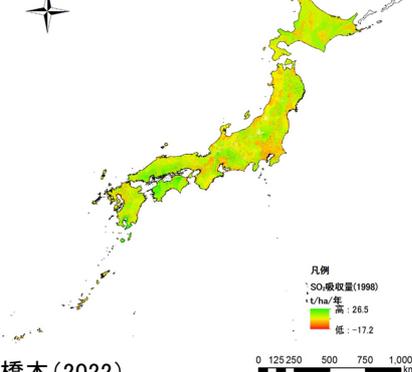
蒸発散量 (mm/年)



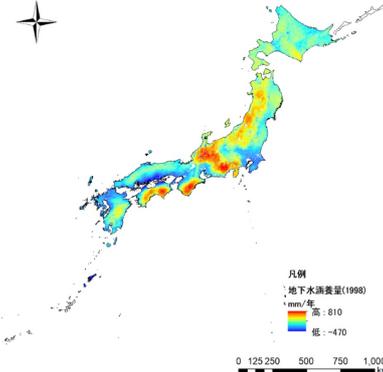
NO<sub>2</sub>吸収量 (t/ha/年)



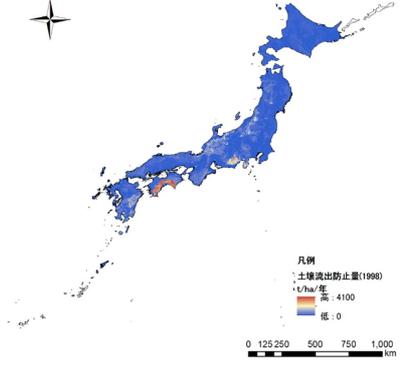
SO<sub>2</sub>吸収量 (t/ha/年)



地下水涵養量 (mm/年)

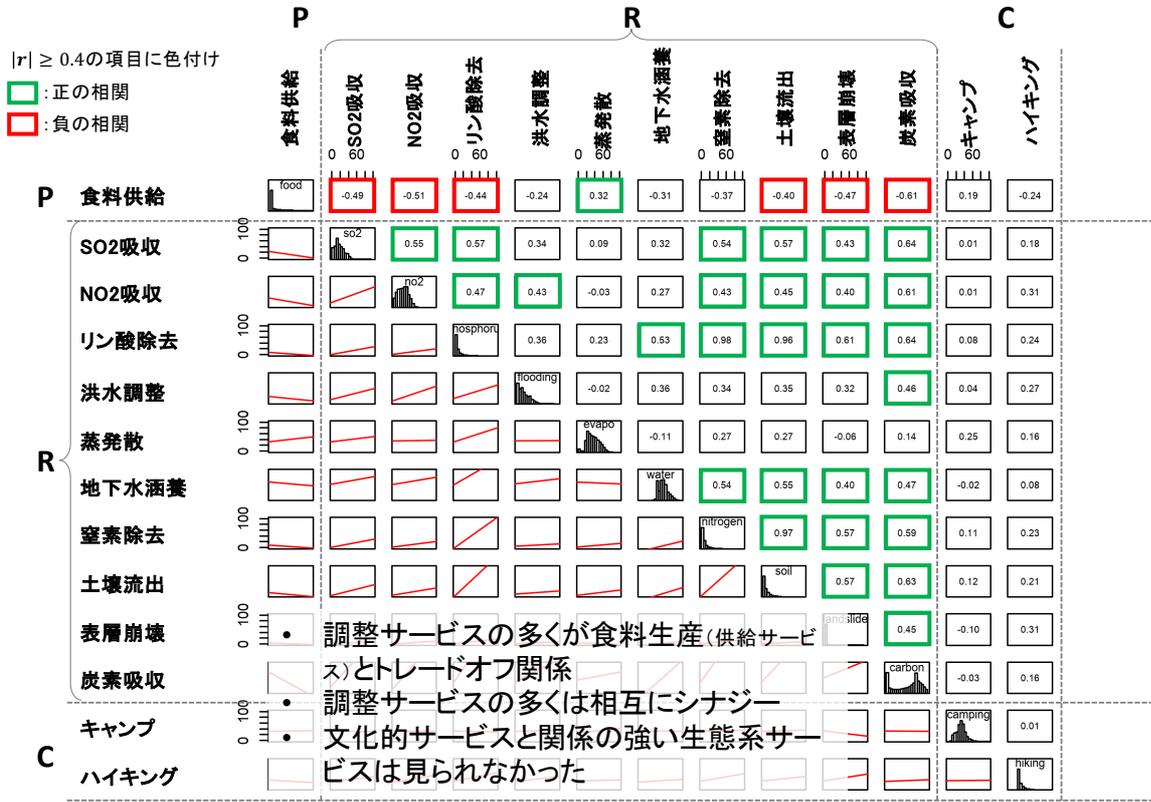


土壌流出防止量 (t/ha/年)



橋本 (2022)

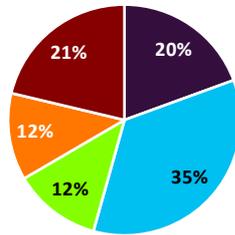
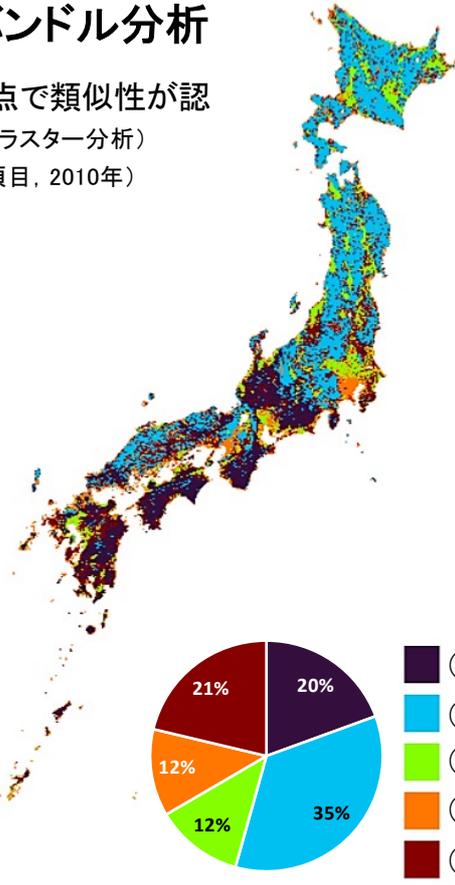
## 生態系サービス相互の関係



橋本 (2022)

# 生態系サービスのバンドル分析

- 生態系サービス供給の観点で類似性が認められる地域を分類(階層クラスター分析)
- 生態系サービスデータ(13項目, 2010年)
- 空間解像度: 1kmメッシュ

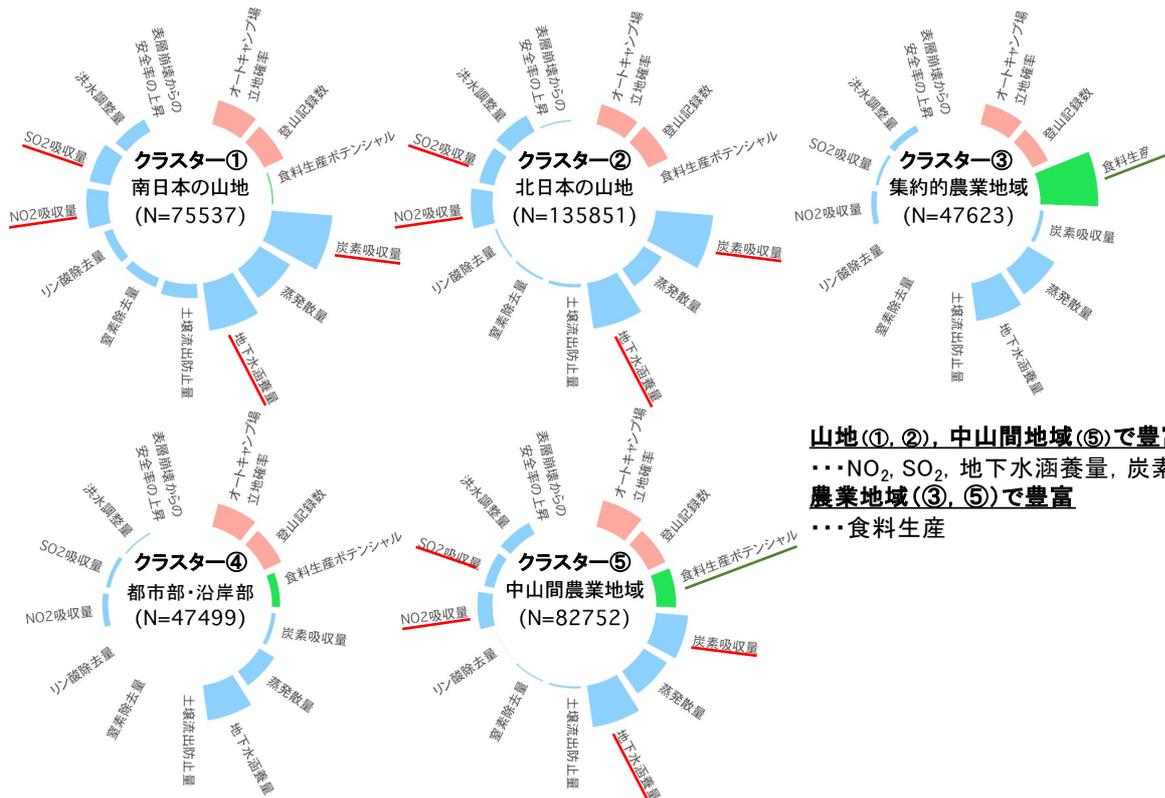


- ① 南日本の山地
  - ② 北日本の山地
  - ③ 集約的農業地域
  - ④ 都市部・沿岸部
  - ⑤ 中山間地域
- 山地  
平野

橋本 (2022)

47

# 各クラスターの特徴

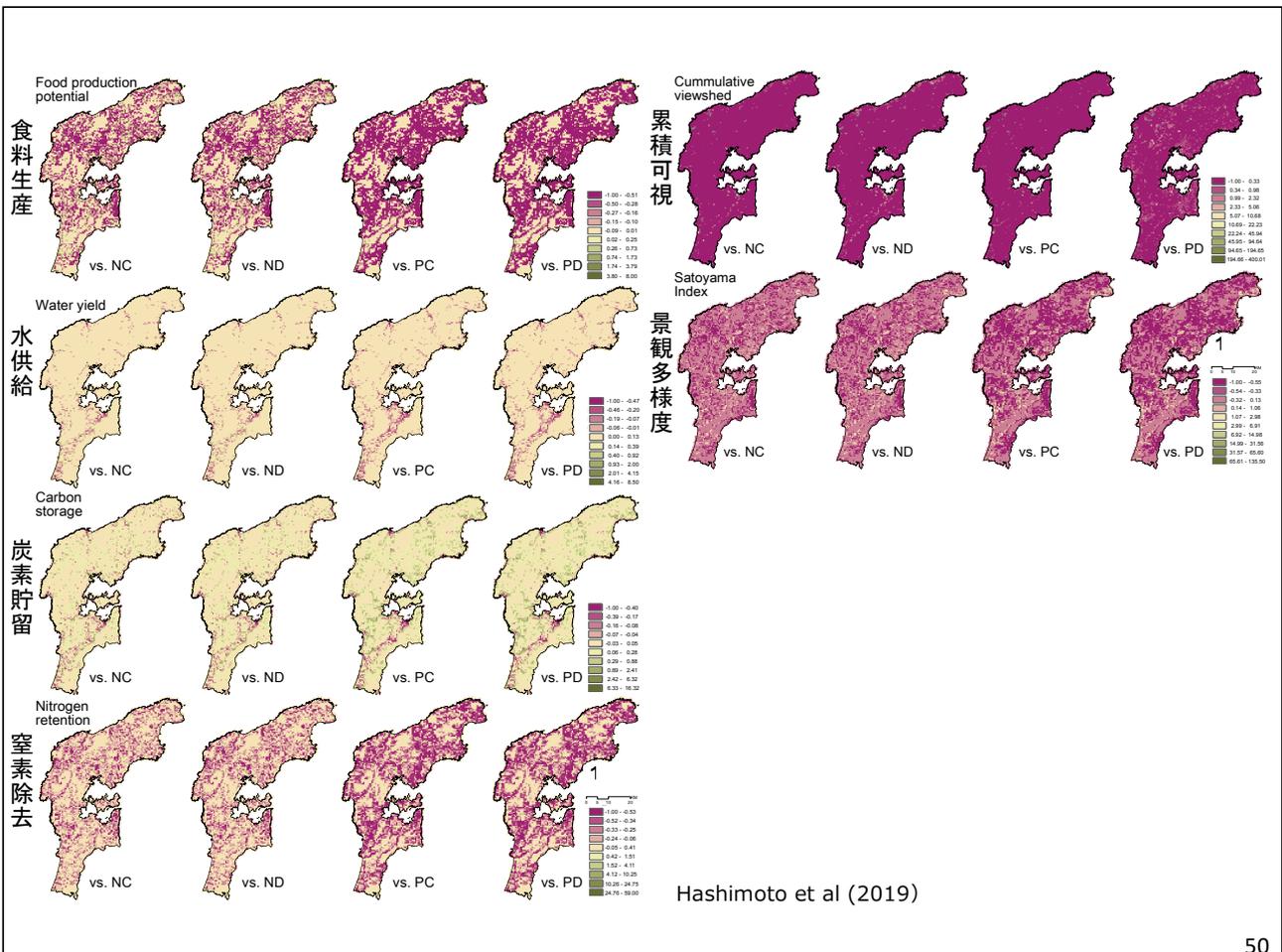
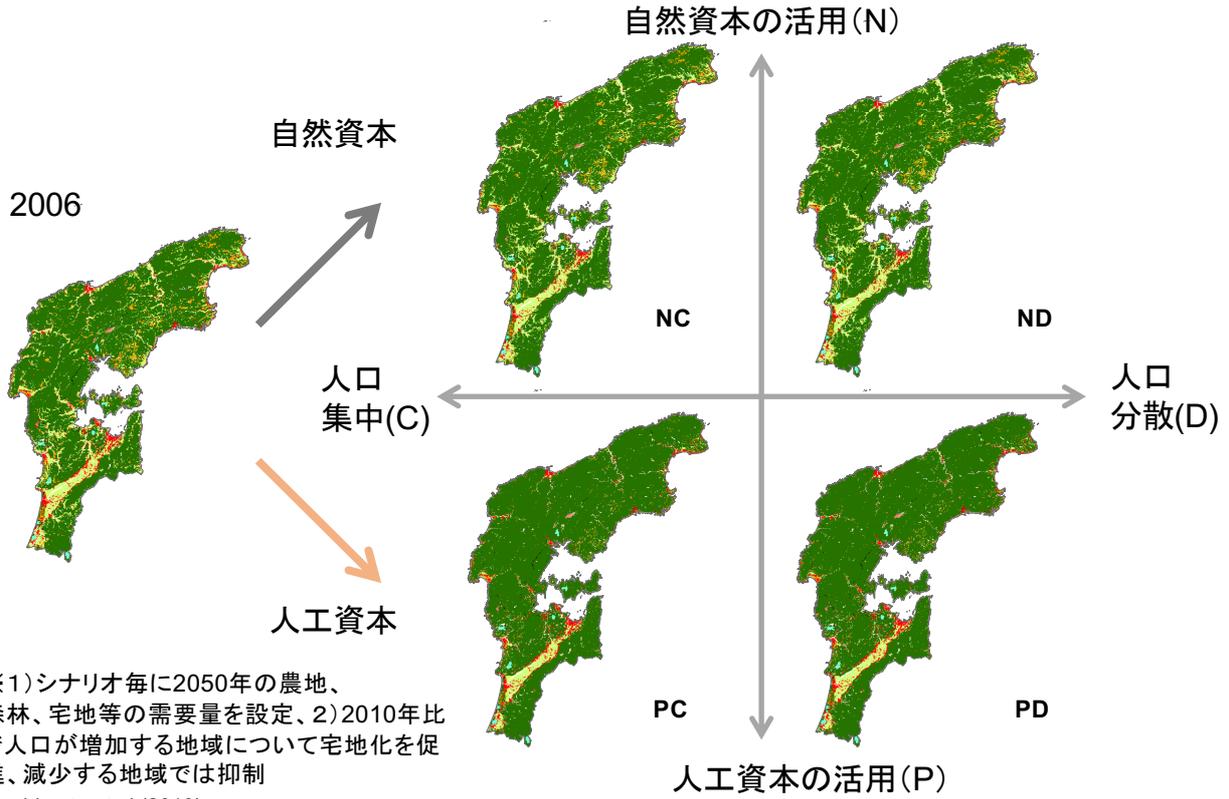


**山地(①, ②), 中山間地域(⑤)で豊富**  
 ...NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, 地下水涵養量, 炭素吸収量,  
**農業地域(③, ⑤)で豊富**  
 ...食料生産

橋本 (2022)

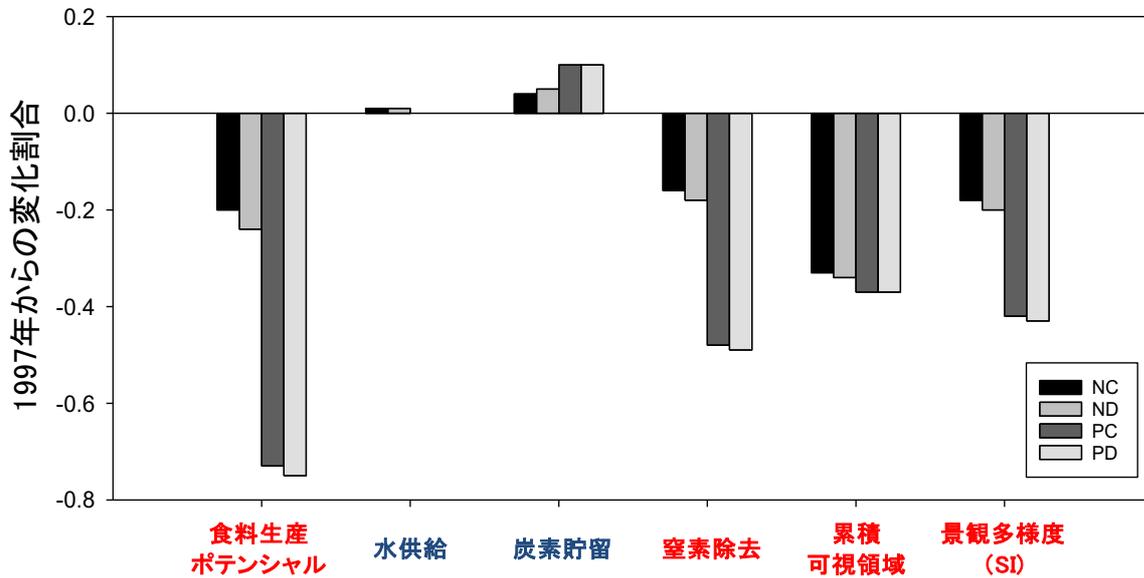
48

# 事例5:生態系サービスの将来予測



# 生態系サービスの变化(1997年との比較)

- 全体的に農業生産の縮小により農業と結びつきの強いサービスが20~75%減少、景観の多様度も低下
- サービスの減少や多様度の低下は人工資本活用型のシナリオ(PC、PD)で顕著
- 森林面積の拡大により増加するサービスもあるが、増加割合は小さい



Hashimoto et al (2018)

51

51

# 事例6:コンパクトシティが雨水流出に及ぼす影響

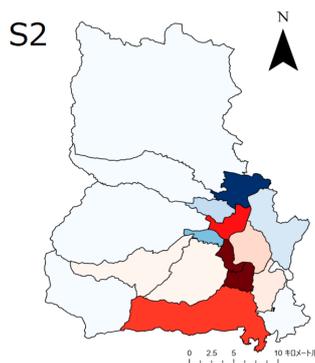


図. S2の雨水流出量変化割合図 (S1比)

増加：8地区  
減少：9地区

	都市の集約	都市面積の減少
S1	×	×
S2	○	×
S3	○	○

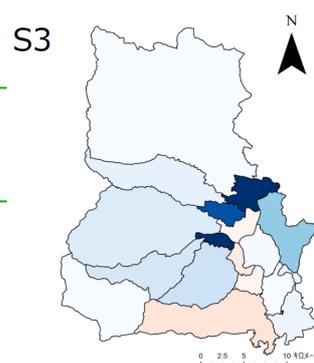
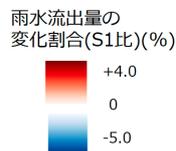


図. S3の雨水流出量変化割合図 (S1比)

増加：4地区  
減少：13地区

- 居住誘導同時に、雨水の排水能力の増強が必要であることを示唆
- 都市面積の低減は、洪水リスク軽減に有効

山口・橋本(未発表)

52