宇宙箱舟からみえてくる生物多様性

近藤 倫生
龍谷大学 理工・JST さきがけ

差出人: Eri Mizumachi
件名:ご講演のお願い
日時: 2011年1月14日 22:32:58JST
宛先: 近藤 倫生 <mkondoh@rins.ryukoku.ac.jp>

.
.
.

・・・「宇宙箱船構想」です。

もしも、今、地球外惑星に、
移住しなければならないとしたら、
何を持って行きますか？？

食べ物を作るために、コメとかムギとか要りそう。
樹木が無い世界では、酸素が得られない？？

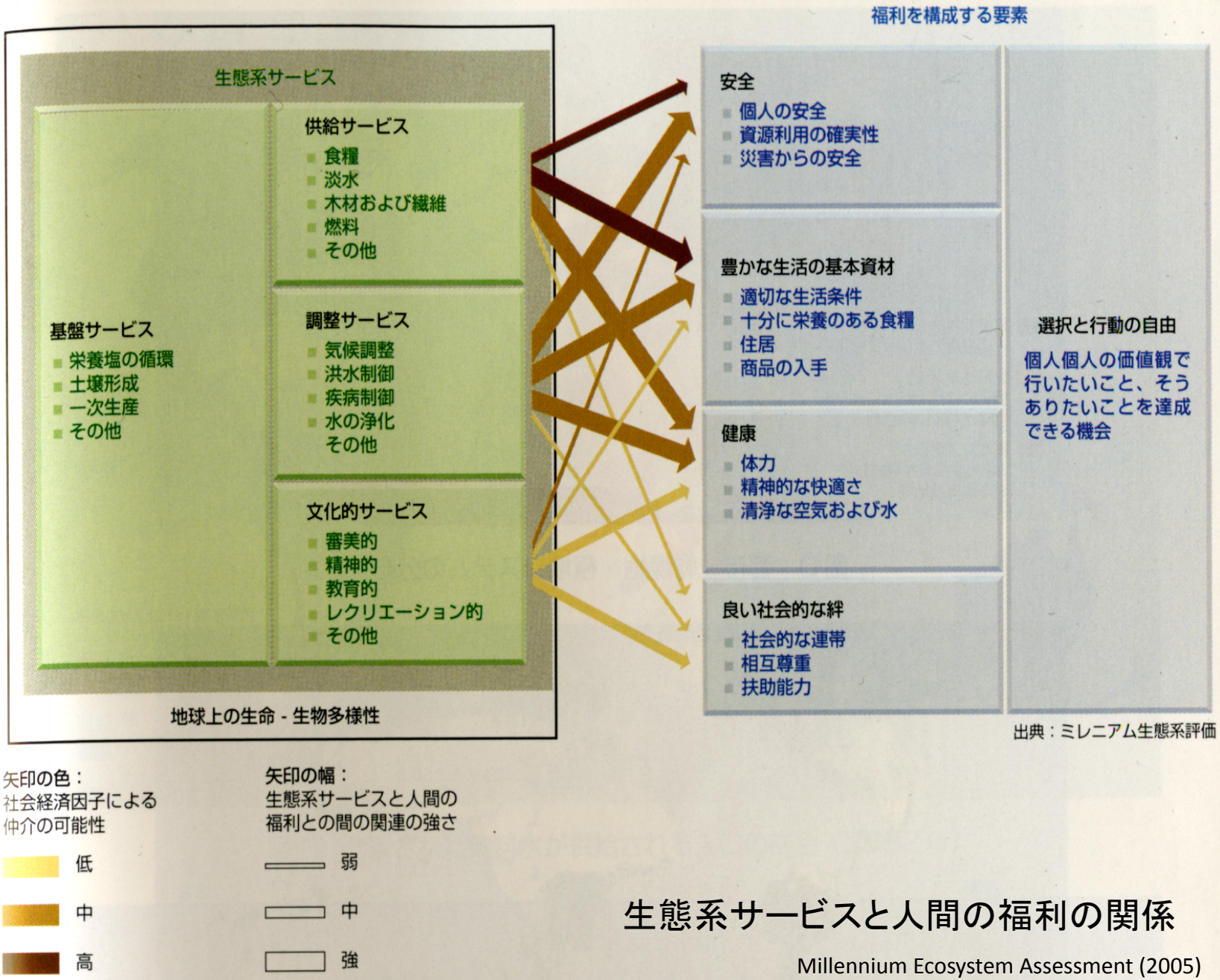
ゾウとかパンダとか捨てがたい、と言われそう。
む？？ゴキブリは？蚊は？
もしもこの世にいなかったら、どうなるのだろう？

そもそも、人間だって、連れて行ける人ばかりじゃない・・・

.
.
.

京都大学 物質-細胞統合システム拠点
科学コミュニケーショングループ
水町 衣里

生態系サービス



出典：ミレニアム生態系評価

生態系サービスと人間の福利の関係

Millennium Ecosystem Assessment (2005)

宇宙箱船において
生態系サービスをいかにして維持するか？

生態系サービスの維持は簡単ではない

生態系サービスの維持は簡単ではない

生態系は相互依存する生物間の
絶妙なバランスのうえに成立

EcoSphere（エコスフェア）

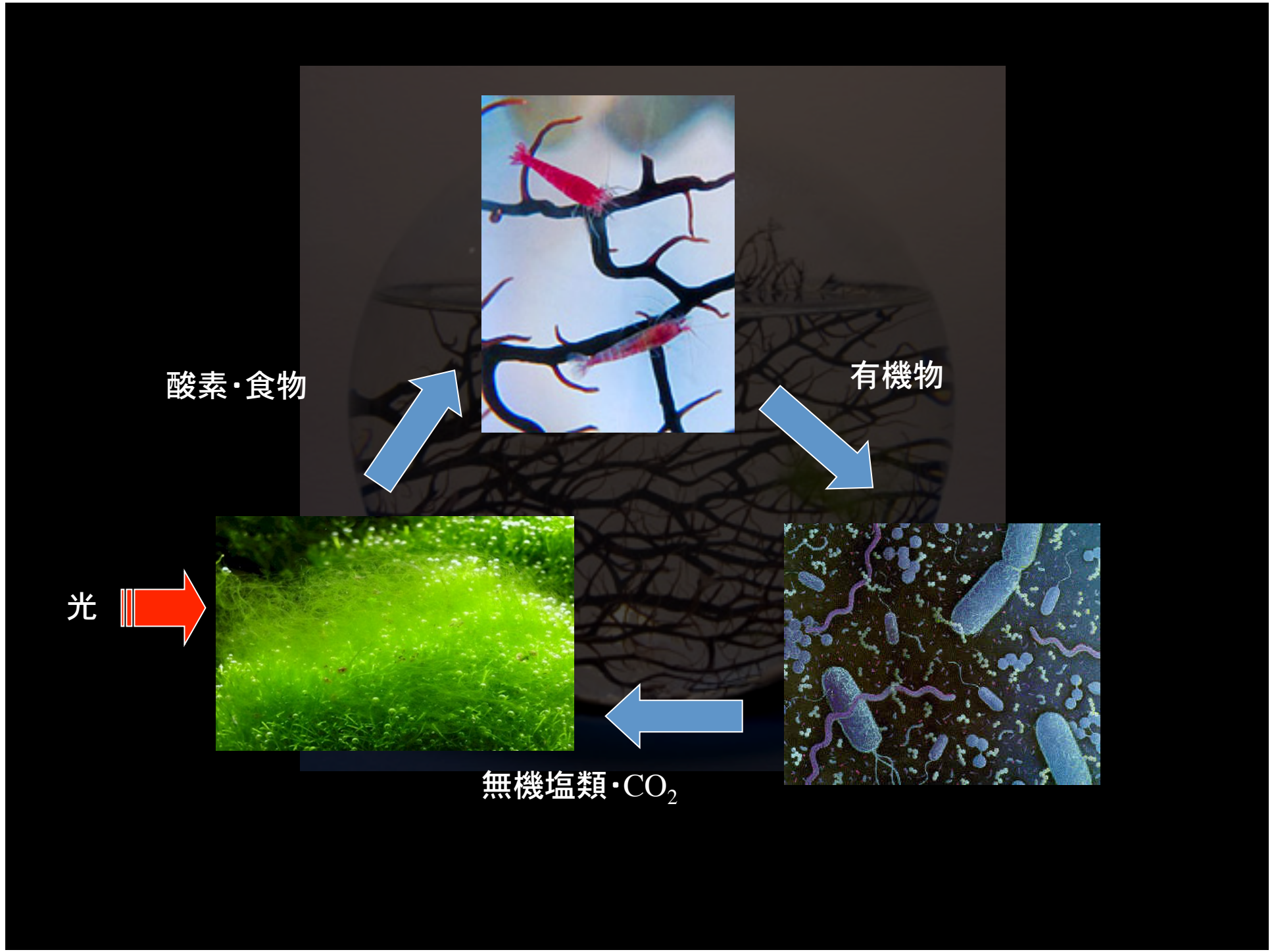
EcoSphere（エコスフェア）

The Original EcoSphere® is the world's first totally enclosed ecosystem - a complete, self-contained and self-sustaining miniature world encased in glass…

エコスフェア®は世界初の密封容器の中の生態系です：
外からの力を借りることなく持続する完璧なミニチュアの世界がガラスケースの中に閉じ込められています…

Ecosphere Associates, IncのHPより

EcoSphere（エコスフェア）


酸素・食物
有機物
光
無機塩類・CO_2

The Original EcoSphere® is the world's first totally enclosed ecosystem - a complete, self-contained and self-sustaining miniature world encased in glass…

EcoSpheres have an average life expectancy of two years.

エコスフェア®は世界初の密封容器の中の生態系です：
外からの力を借りることなく持続する完璧なミニチュアの世界がガラスケースの中に閉じ込められています…

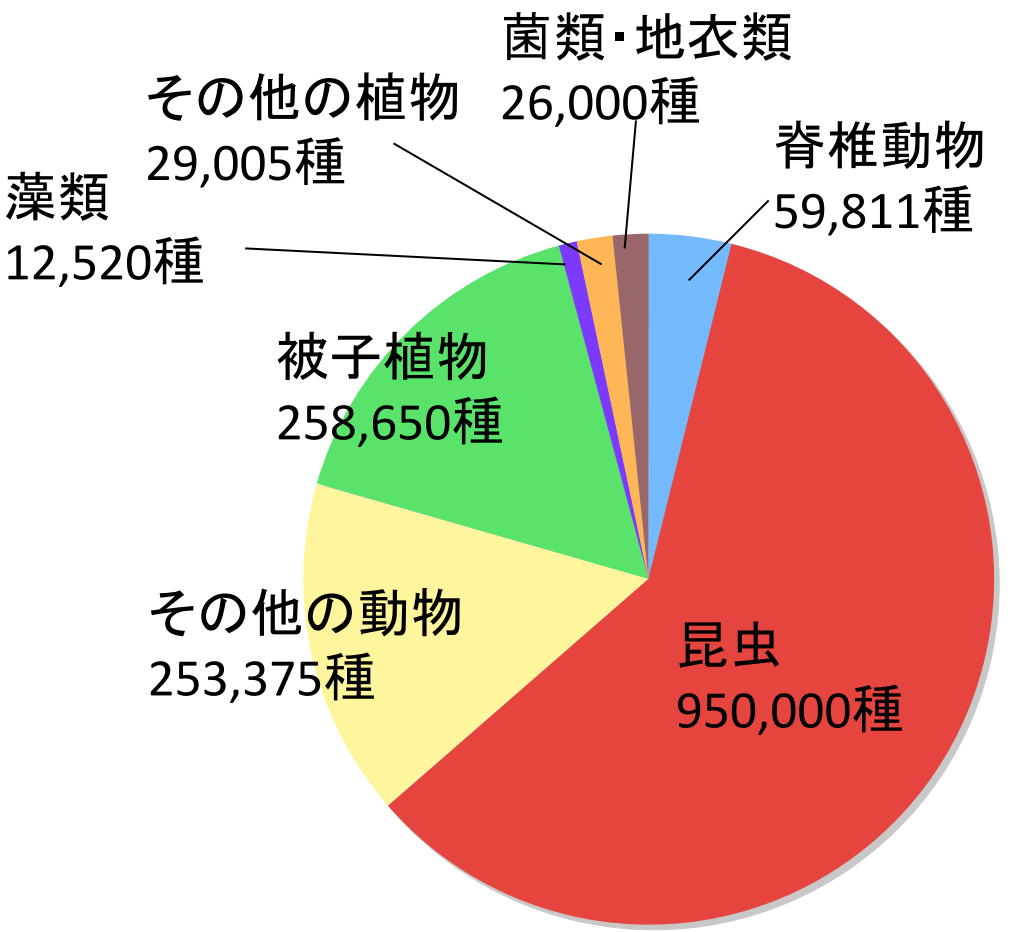
エコスフェアの寿命は約2年間です。

Ecosphere Associates, Incの**HPより**

EcoSphere（エコスフェア）

生態系サービスを長期的に
安定して供給する唯一のシステム

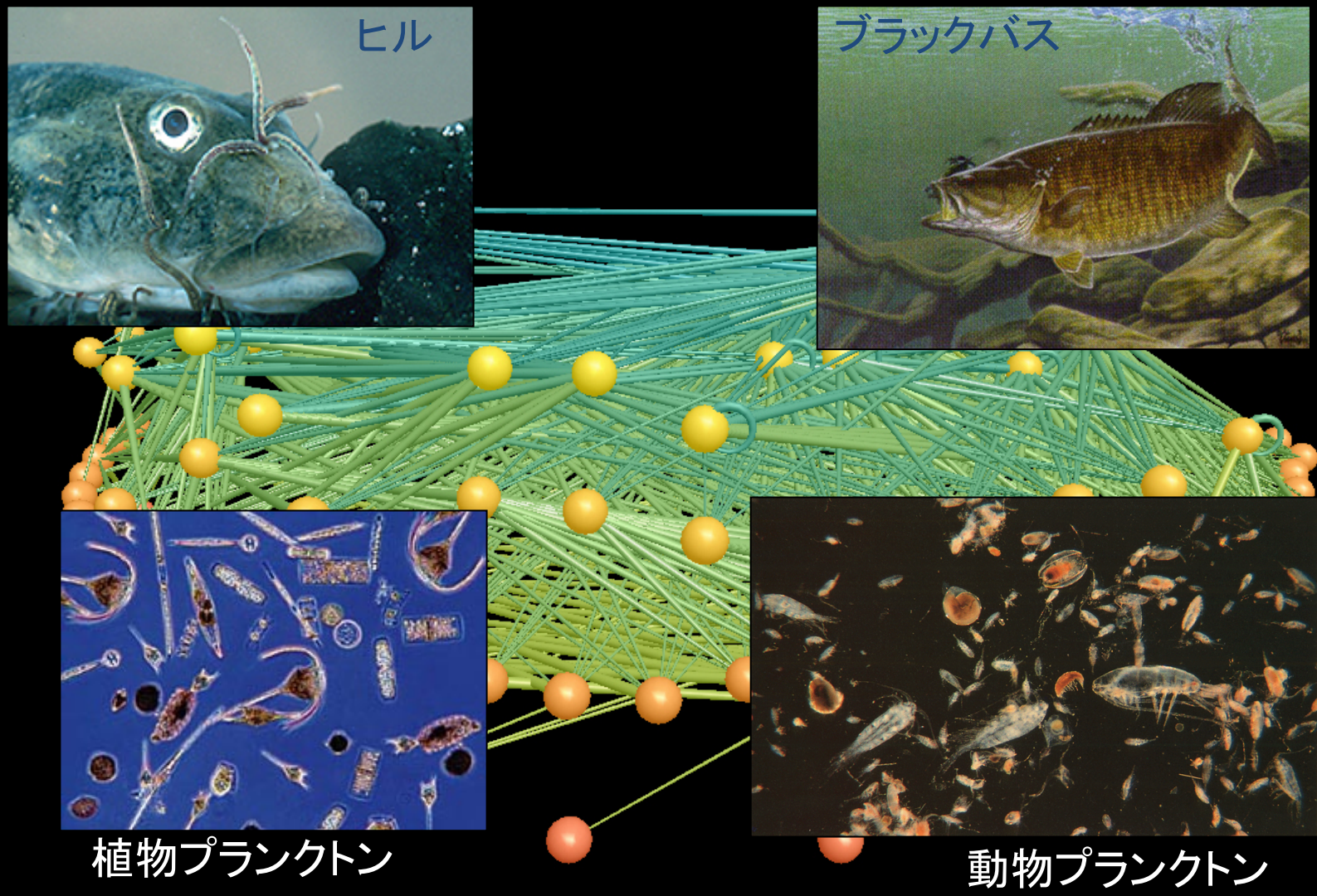
月周回衛星「かぐや」から見た地球
JAXA



The World Conservation Union (2007)

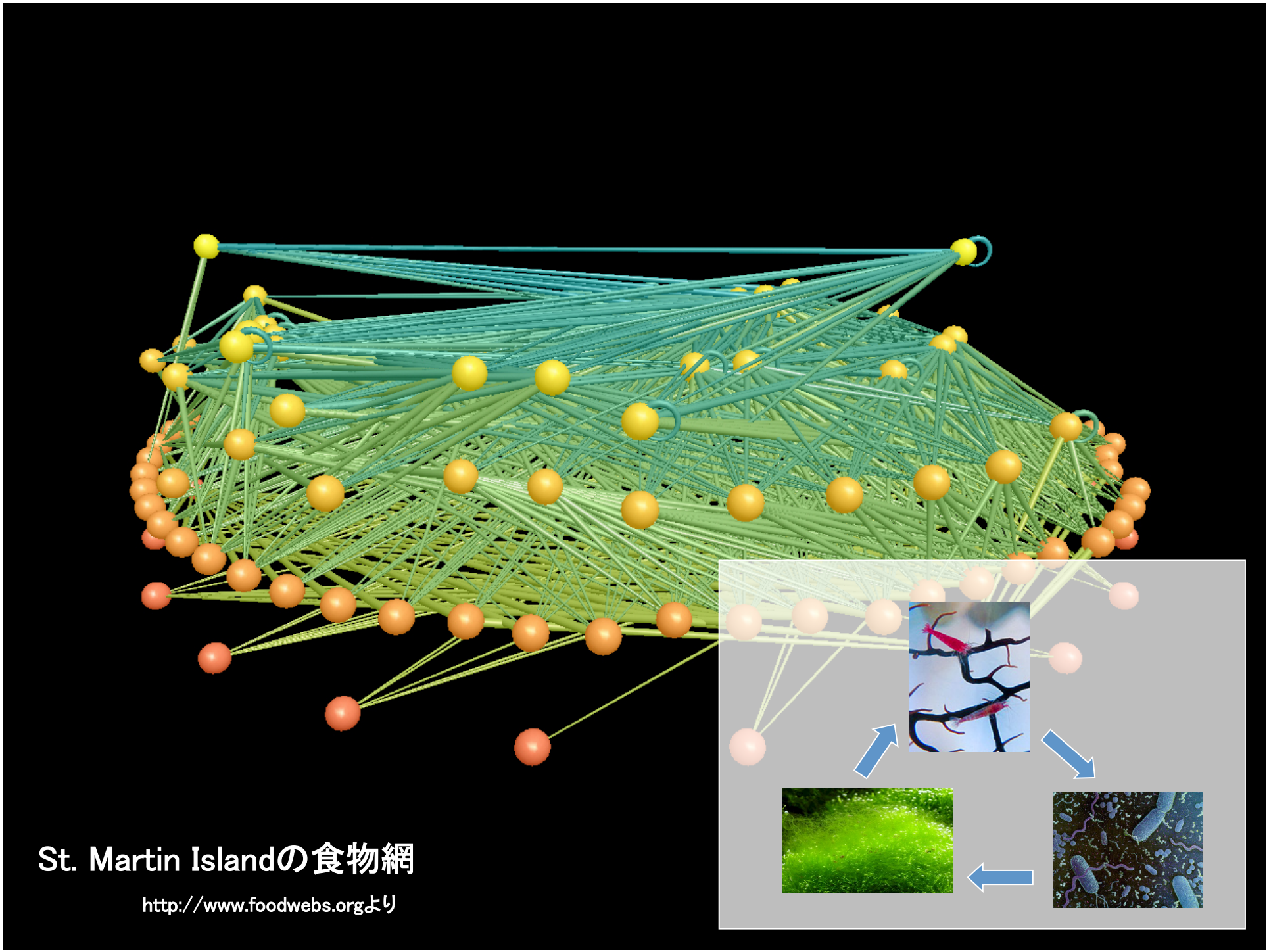
現在知られている生物種の数　約1,589,361種

St. Martin Island



St. Martin Islandの食物網

http://www.foodwebs.orgより



St. Martin Islandの食物網

http://www.foodwebs.orgより

生物多様性・複雑性の役割

1. 生態系機能の効率を高める
2. 撹乱に対する頑強性を支える

BIODEPTH

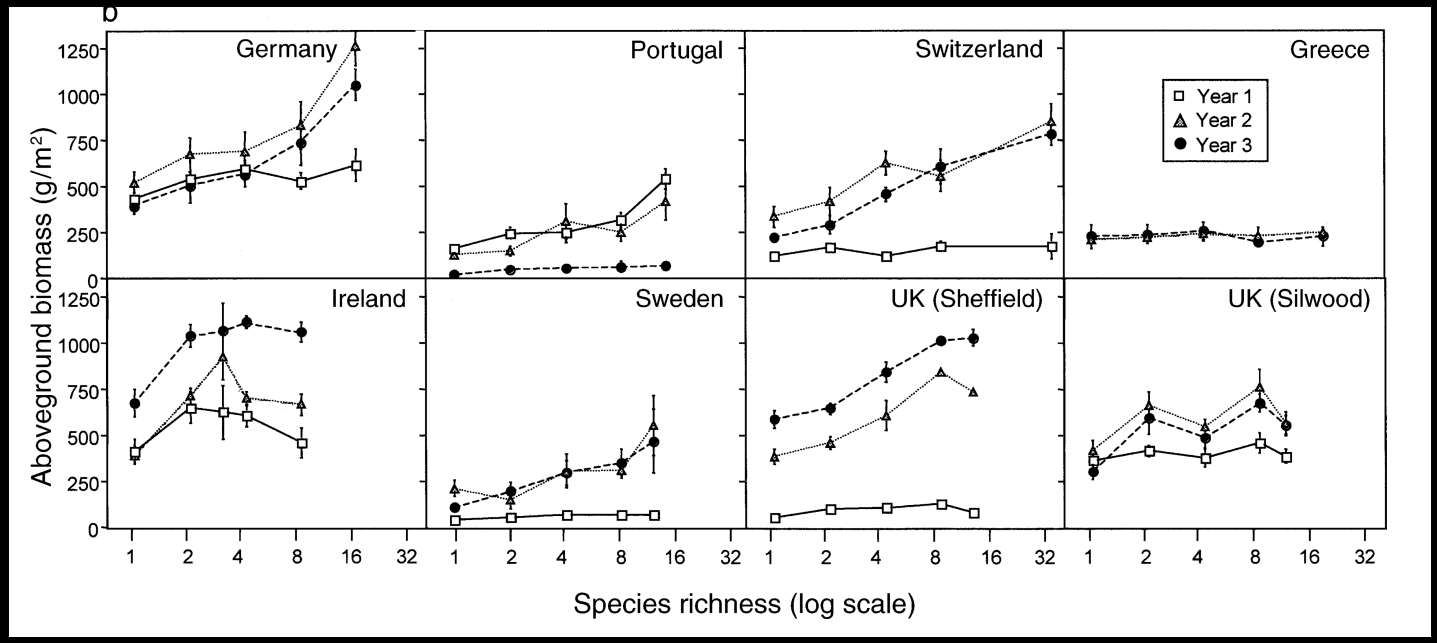
(Biodiversity and Ecological Processes in Terrestrial Herbaceous Ecosystems)

・人工草原を利用した大規模実験

・EUで8つの研究サイトが3年間の参加

・植物の種数を操作して，生物多様性の低下が物質生産におよぼす影響を評価

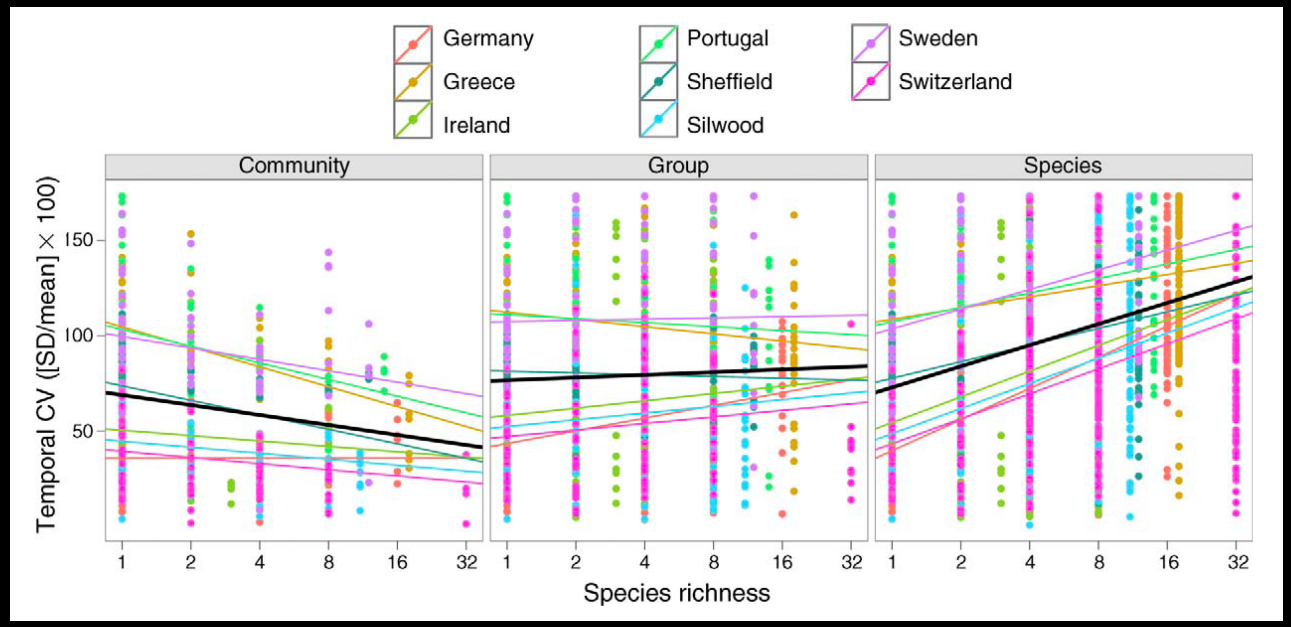
・種多様性は生産量を押し上げる効果がある



Spehn et al. 2005

BIODEPTH

(Biodiversity and Ecological Processes in Terrestrial Herbaceous Ecosystems)



Hector et al. 2010

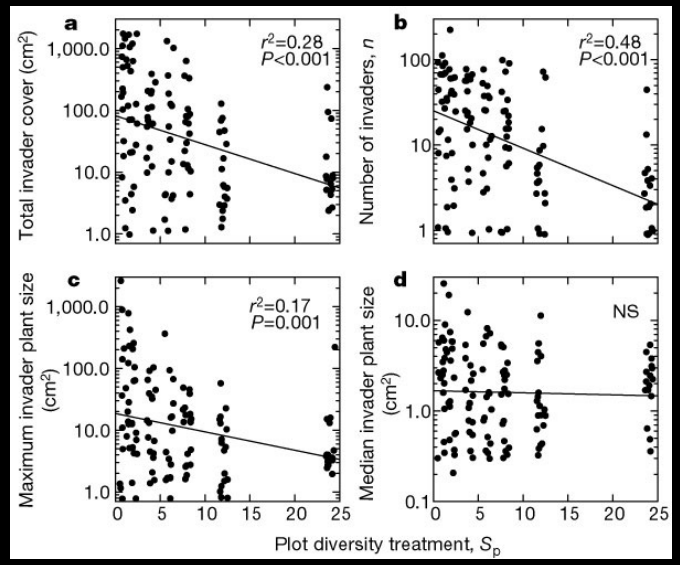
・植物による物質生産量の時間変化は種数に依存して変化した

・植物群集全体の生産性は種数が高くなるほど安定した

・個々の植物種の生産性は種数が高くなるほど不安定になった

・植物の種数が高い場合には種の交替が生じていることを示唆

Cedar Creekでの草地実験（Kennedy et al. 2002）



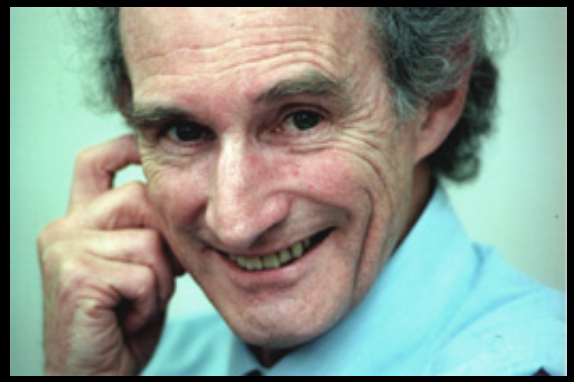
・アメリカ合衆国ミネソタにおいておこなわれた操作実験

・種数の異なる（1～24種）在来植物の生育する147の草地プロットを準備

・草地プロットに14種の外来植物を人為的に導入し，侵入後の経過を比較

・在来植物の種数が多いほど，外来種の侵入を受けにくいことが明らかになった

では,「箱船」において生物多様性を
実現するのは可能か？



"…*we consider a simple mathematical model for a* ***many-predator-many-prey system****, and show it* ***to be in general less stable****, and never more stable, than the analogous one-predator-one-prey system*." *Math. Biosci.* **12**, 59-79 (1971).

Robert May

局所安定の条件:

$$i\sqrt{SC} < 1$$

Sは種数;Cは結合度;相互作用強度は平均0, SDがiの正規分布

複雑な生物群集は存続が困難

BIOSPHERE2 : Mission I (1991-1993)

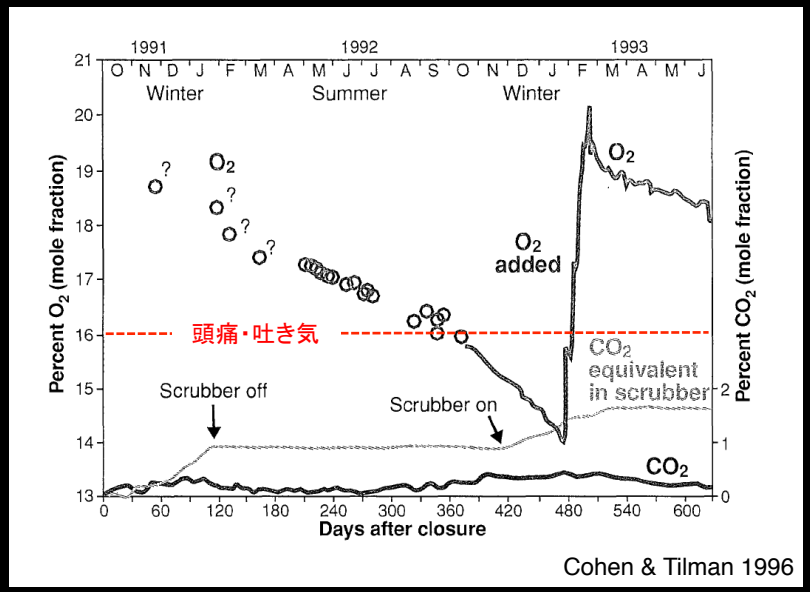
・アメリカ合衆国アリゾナに200,000,000ドルを投じて建設

・敷地面積は12,700m^2. 雨林・サバンナ・砂漠・湿地・海・農地・ヒト生活圏からなる

・物質に関して閉鎖系（太陽光を利用）

・８個体のヒトの生存に必要な資源（酸素・食料・水）を2年間にわたって供給できるように設計

・人類にとって2つ目の「ヒトの生存可能な生物圏」となる予定であった



Biosphere2における0_2・CO_2濃度の時間変化

Ipomoea hederacea

・豊富な栄養塩のため土壌細菌の呼吸が活性化．実験開始から480日で酸素濃度が21%から14%程度（海抜5,000m相当）にまで低下

・炭素のシンクとして導入されたアメリカアサガオ（*Ipomoea hederacea*）が他の植物を競争排除

・25種中19種の脊椎動物は絶滅．すべての花粉媒介者も絶滅した

地球上の自然生態系では
なにが生物多様性を支えているのか？

1. 多種共存を促進する秩序ある複雑性

2. 外的撹乱に自律的に対処する構造的柔軟性

1. 多種共存を促進する秩序ある複雑性

2. 外的撹乱に自律的に対処する構造的柔軟性

Energetics, Patterns of Interaction Strengths, and Stability in Real Ecosystems

Peter C. de Ruiter,* Anje-Margriet Neutel, John C. Moore

Ecologists have long been studying stability in ecosystems by looking at the structuring and the strengths of trophic interactions in community food webs. In a series of real food webs from native and agricultural soils, the strengths of the interactions were found to be patterned in a way that is important to ecosystem stability. The patterning consisted of the simultaneous occurrence of strong "top down" effects at lower trophic levels and strong "bottom up" effects at higher trophic levels. As the patterning resulted directly from the energetic organization of the food webs, the results show that energetics and community structure govern ecosystem stability by imposing stabilizing patterns of interaction strengths.

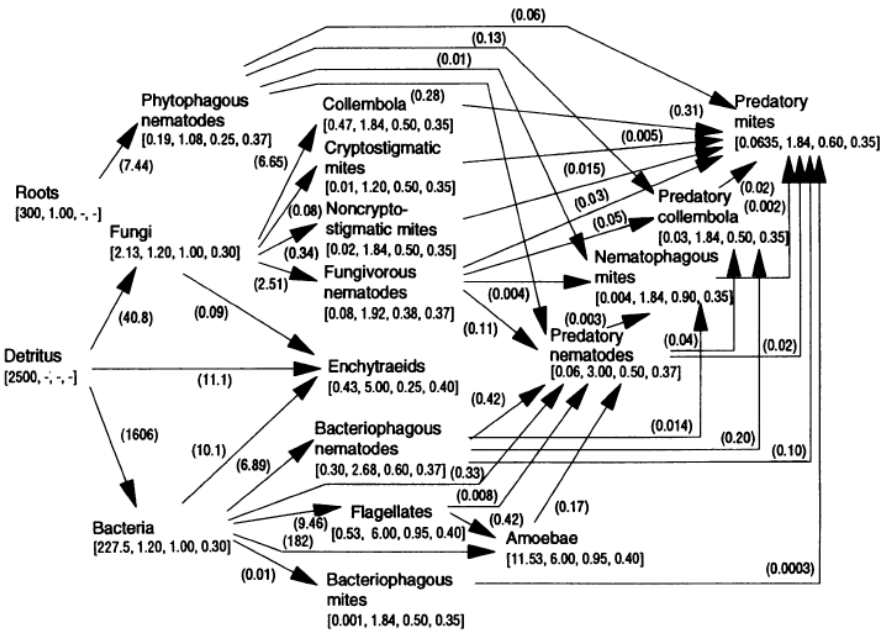
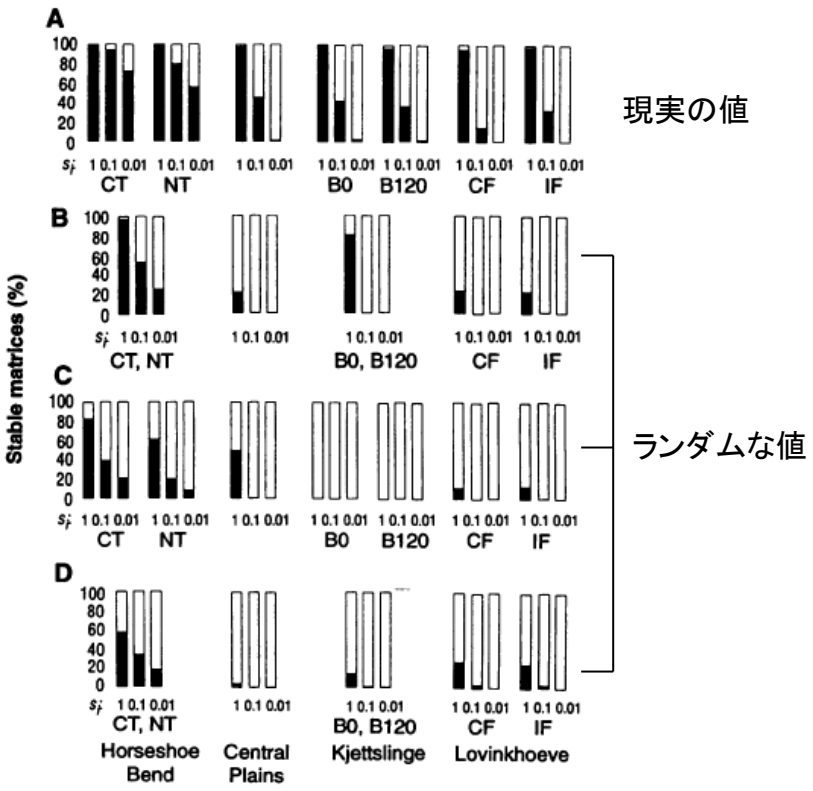


Fig. 1. Material flow diagram of the food web from the conventional practice of the Lovinkhoeve Experimental Farm (*12*). Species were aggregated into functional groups (*28*). For each group *i*, the data used to calculate the interaction strengths (*14*) are given in (square brackets) the sequence biomass (B_i, kg ha^{-1}), specific death rate (d_i, year^{-1}), assimilation efficiency (a_i), and production efficiency (p_i). Feeding rates of group *j* on group *i* (F_{ij}, kilograms per hectare per year) *13*) are given near their respective arrows (parentheses).

SCIENCE • VOL. 269 • 1 SEPTEMBER 1995

相互作用強度は安定化に寄与している



Building trophic modules into a persistent food web

Michio Kondoh[1]

Faculty of Science and Technology, Ryukoku University, 1-5 Yokotani, Seta Oe-cho, Otsu 520-2194, Japan; and Japan Science and Technology Agency, 4-1-8 Honcho, Kawaguchi 332-0012, Japan

Edited by Robert D. Holt, University of Florida, Gainesville, FL, and accepted by the Editorial Board September 11, 2008 (received for review June 18, 2008)

Understanding what maintains species and perpetuates their coexistence in a network of feeding relationships (the food web) is of great importance for biodiversity conservation. A food web can be viewed as consisting of a number of simple subunits called trophic modules. Intraguild predation (IGP), in which a prey and its predator compete for the same resource, is one of the best-studied trophic modules. According to theory, there are two ways to yield a large persistent system from such modules: (*i*) to use persistent subunits as building blocks or (*ii*) to arrange the subunits in a way that externally supports the nonpersistent subunits. Here, I show that the complex food web of the Caribbean marine ecosystem is constructed in both ways. I show that IGP modules, which convey internal persistence because of the fact that prey are superior competitors for the resources, are overrepresented in the Caribbean ecosystem. The other modules, consisting of competitively inferior prey, are not persistent in isolation. However, competitively inferior prey in these modules tend to receive more advantage from extra-module interactions, which allows persistence of the IGP module. In addition, those exterior interactions tend to be provided by intrinsically persistent IGP modules to prevent cascading extinction of interacting IGP modules. The food web can be viewed as a set of interacting modules, nonrandomly arranged to enhance the maintenance of biodiversity.

community persistence | complex network | interaction strength | network motif | intraguild predation

promotes persistence are overrepresented; (*ii*) that IGP modules with an internal structure that could not persist in isolation are allowed to persist by virtue of exterior interactions with the surrounding community; and (*iii*) that the external interactions are provided by intrinsically persistent IGP modules to prevent the cascading breakdown of the IGP modules. This study provides the basis to understanding a complex food web as a set of interacting simple modules, nonrandomly arranged to enhance the maintenance of biodiversity.

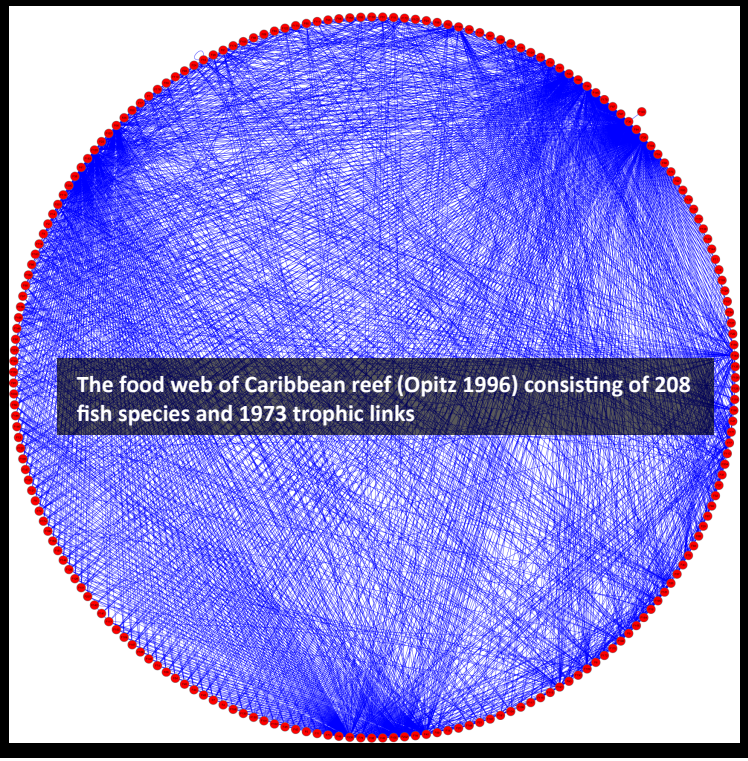
Results and Discussion

Classification of IGP Module Based on Their Maintenance Mechanisms. A necessary condition for the existence of equilibrium with all species present in an IGP module (termed hereafter "feasibility condition") is given by:

$$\frac{T_P}{\alpha_{RP^*}} - \frac{T_C}{\alpha_{RC^*}} > \frac{\beta_P}{\alpha_{RP^*}} - \frac{\beta_C}{\alpha_{RC^*}}, \qquad [1]$$

where T_i is the mass-specific respiration rate of species i ($i = R, C, P$); α_{ji}, the functional response of predator i to prey j; β_i, the net effect of trophic interactions with the species other than R, C, and P on species i; and asterisks indicate values at equilibrium (see *Materials and Methods*). This condition does not necessarily assume that the community is maintained at the equilibrium. Feasibility is necessary for persistence of IGP modules even when species coexist in unstable conditions (16, 24). T_i/α_{Ri}* is the

ECOLOGY



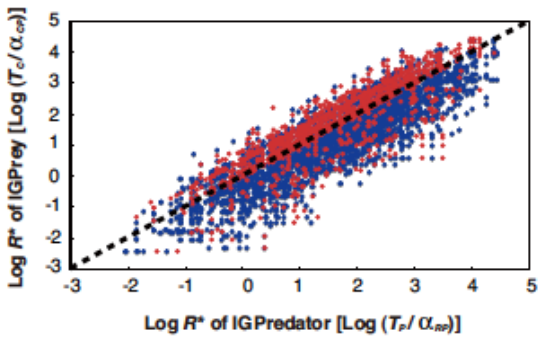
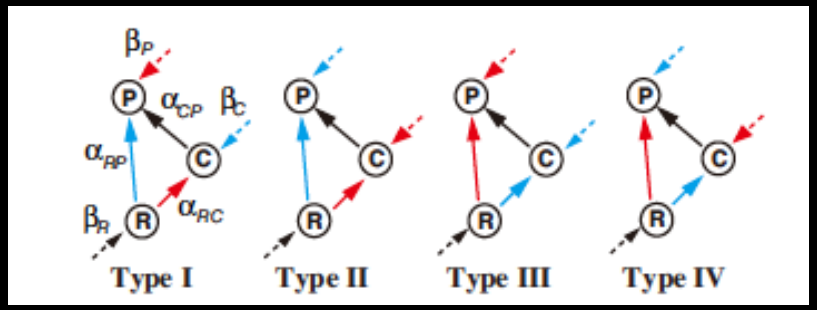


Fig. 3. Compensation of intrinsic nonpersistence by extra-module forces. Log R^* of IGPredator is plotted against log R^* of IGPrey. The broken line represents the equality that [log R^* of IGPredator] = [log R^* of IGPrey], the dots below which are intrinsically persistent because the prey is competitively superior. The red and blue dots are for modules where extrinsic forces promote persistence or not, respectively.



1. 多種共存を促進する秩序ある複雑性

2. 外的撹乱に自律的に対処する構造的柔軟性

食物網の柔軟な構造変化

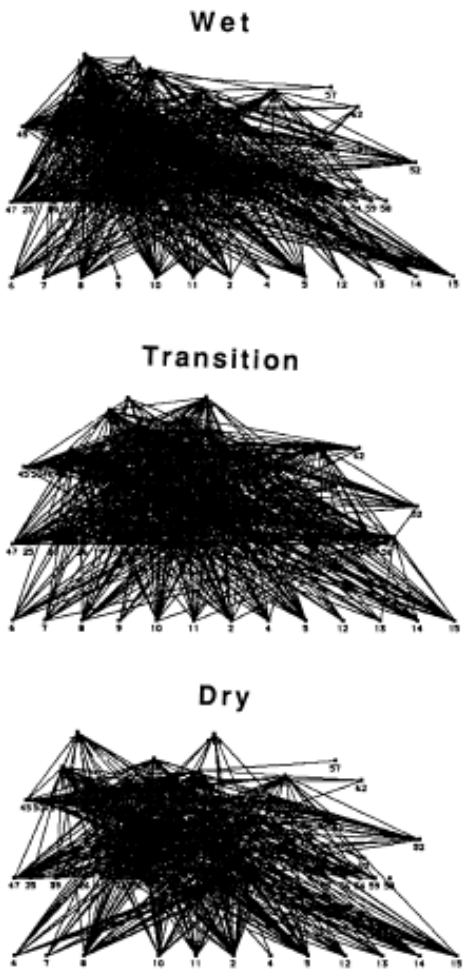
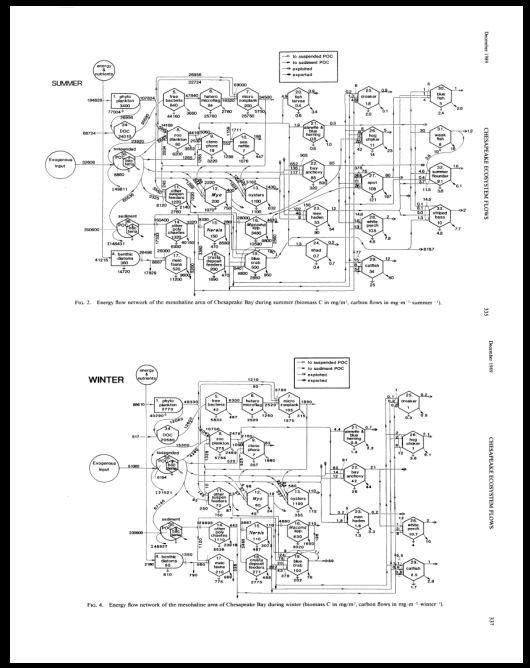
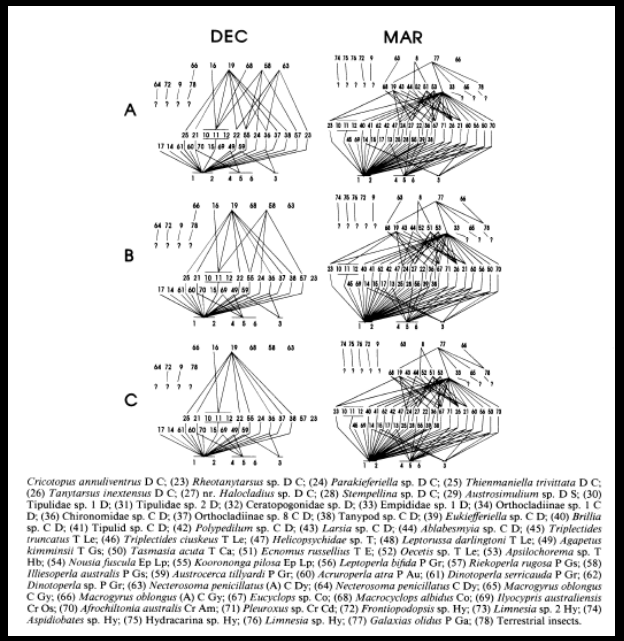


FIG. 9. Community food-web diagrams for Caño Maraca during three seasons (LT = 0; link threshold is defined in Table 1). The top predator during the wet season was the fin-nipping piranha, *Serrasalmus irritans* (Characidae). The top predator during the transition and dry seasons was the mucus-feeding catfish, *Ochmacanthus alternus* (Trichomycteridae).

Cano Maraca (Winemiller 1990)

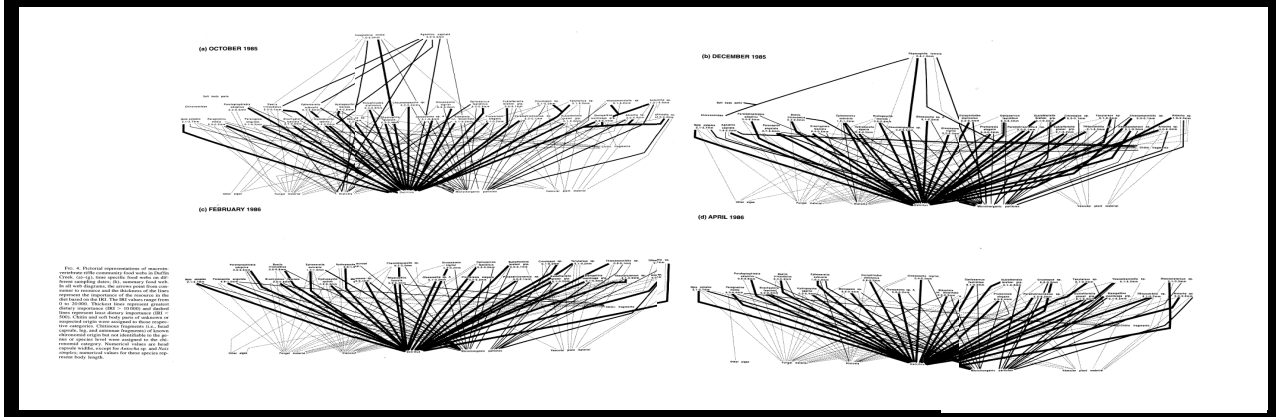


Chesapeake Bay (Baird & Ulanowicz 1989)

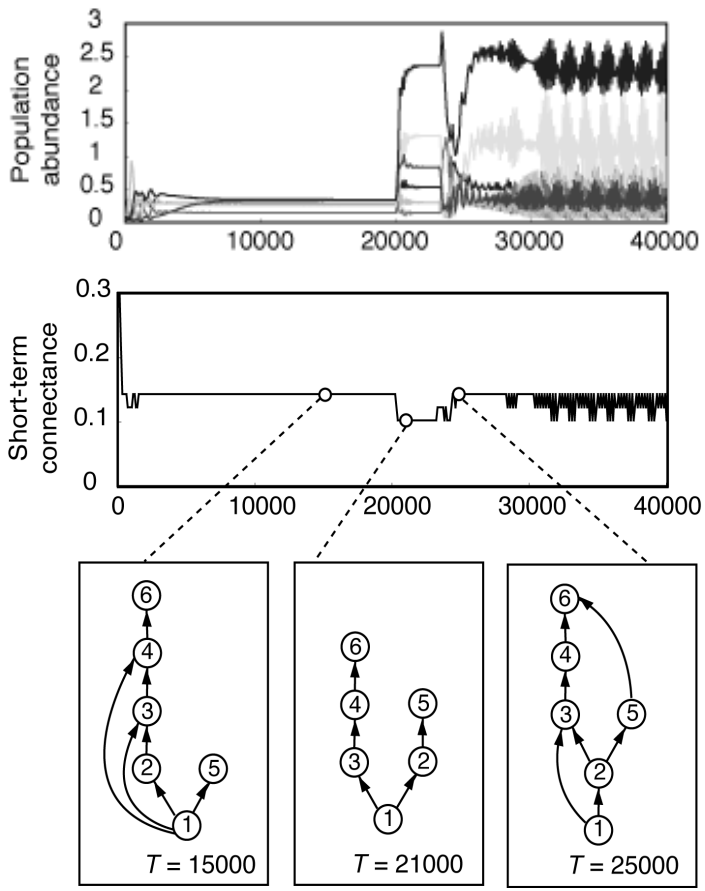


Cricotopus annuliventrus D C; (23) *Rheotanytarsus* sp. D C; (24) *Parakieferiella* sp. D C; (25) *Thienmaniella trivittata* D C; (26) *Tanytarsus inextensus* D C; (27) nr. *Halocladius* sp. D C; (28) *Stempellina* sp. D C; (29) *Austrosimulium* sp. D S; (30) Tipulidae sp. 1 D; (31) Tipulidae sp. 2 D; (32) Ceratopogonidae sp. D; (33) Empididae sp. 1 D; (34) Orthocladiinae sp. 1 C D; (36) Chironomidae sp. C D; (37) Orthocladiinae sp. 8 C D; (38) Tanypod sp. C D; (39) *Eukiefferiella* sp. C D; (40) *Brillia* sp. C D; (41) Tipulid sp. C D; (42) *Polypedilum* sp. C D; (43) *Larsia* sp. C D; (44) *Ablabesmyia* sp. C D; (45) *Triplectides truncatus* T Le; (46) *Triplectides ciuskeus* T Le; (47) *Helicopsychidae* sp. T; (48) *Leptorussa darlingtoni* T Le; (49) *Agapetus kimminsii* T Gs; (50) *Tasmasia acuta* T Ca; (51) *Ecnomus russellisi* T E; (52) *Oecetis* sp. T Le; (53) *Apsilochorema* sp. T Hb; (54) *Nousia fuscula* Ep Lp; (55) *Koorononga pilosa* Ep Lp; (56) *Leptoperla bifida* P Gr; (57) *Riekoperla rugosa* P Gs; (58) *Illiesoperla australis* P Gs; (59) *Austrocerca tillyardi* P Gr; (60) *Acruroperla atra* P Au; (61) *Dinotoperla serricauda* P Gr; (62) *Dinotoperla* sp. P Gr; (63) *Necterosoma penicillatus* (A) C Dy; (64) *Necterosoma penicillatus* C Dy; (65) *Macrogyrus oblongus* C Gy; (66) *Macrogyrus oblongus* (A) C Gy; (67) *Eucyclops* sp. Co; (68) *Macrocyclops albidus* Co; (69) *Ilyocypris australiensis* Cr Os; (70) *Afrochiltonia australis* Cr Am; (71) *Pleuroxus* sp. Cr Cd; (72) *Frontiopodopsis* sp. Hy; (73) *Limnesia* sp. 2 Hy; (74) *Aspidiobates* sp. Hy; (75) Hydracarina sp. Hy; (76) *Limnesia* sp. Hy; (77) *Galaxias olidus* P Ga; (78) Terrestrial insects.

Lederderg River (Closs & Lake 1994)



Duffin Creek (Tavares-Cormer & Williams 1996)

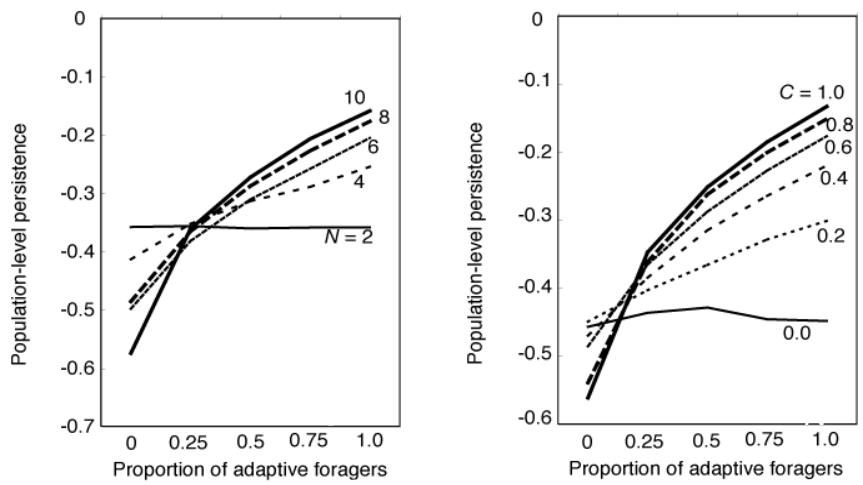


Kondoh, M. (2005) ***Dynamic Food Webs***. Academic Press.

・生物が他との関係性を柔軟に変化させるなら，食物網構造はもはや固定的ではない

・生物の行動に由来する食物網の柔軟性があると，多種の共存がより容易になる可能性

・柔軟性が多種共存を促進するには，生物種の多様性が準備されていることが不可欠



1. 地球の自然生態系を特徴づけるのは多様な生物種とそれらの間の複雑な関係性

2. 生物多様性・複雑性は生態系機能の効率と頑強性を高める

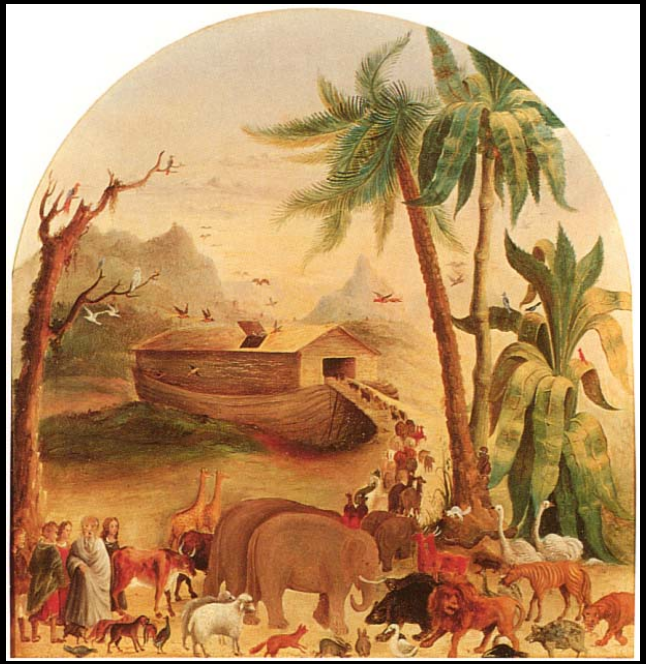
3. 単純な生態系は環境変動に対して脆弱で，変動環境下ではその機能を維持できないだろう

4. しかし，単に複雑な生態系を構築しても多様な生物種は維持され得ない（複雑生態系構築は困難）

5. さらに，柔軟にその振舞いを変える生物の制御は非常に困難になることが予想できる

■宇宙箱船への2つのアプローチ？

	自然生態系アプローチ （複雑生態系） 	無菌培養アプローチ （単純生態系）
イメージ	洗練されたBIOSPHERE 2	巨大なecosphere
複雑性・多様性	高い	低い
機能の効率	種の組み合わせ依存	種の特性依存
撹乱への頑強性	高い	低い
構築のしやすさ	極めて困難	比較的容易？
課題	自然生態系における 複雑性維持機構の 理解が不可欠	「純度」を保てるか？ 環境変動・撹乱・コンタミ を防ぐ



J. H. Hidley「ノアの方舟」

あなたは妻子や嫁たちと共に箱舟に入りなさい。
また、すべて命あるもの、すべて肉なるものから、
二つずつ箱舟に連れて入り、あなたと共に生き延
びるようにしなさい。（旧約聖書「創世記」）