

生態系の代謝

基礎生物学A-2

お知らせ

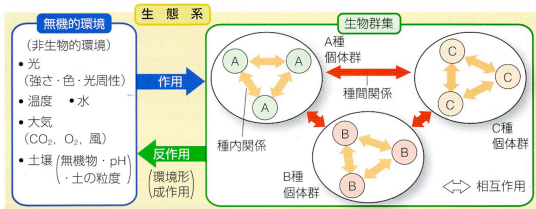
5月14日「種間関係と生物群集」の講義用パワーポイントをWeb SiteにUpしました。

生態学研究センター → センターの概要 →
構成員 → 椿 宜高 → 講義資料
<http://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/%7Etsubaki/PPlist.html>

種間関係と生物群集 重要語

- 競争排除則
- ニッチ分化
- 捕食の間接効果
- 攪乱の効果
- 種多様性
- α 多様性
- β 多様性
- 植生遷移
- 一次遷移
- 二次遷移
- 極相
- 植物群系

生態系：これまで考えてきたのは種が生物群集の一員として生活する場



個体群 ある一定地域内で生活している同種の個体の集まり
生物群集 ある一定地域内に生活している生物の集団
生態系 ある一定地域内の生物群集とそれを取りまく無機的環境とのまとまり

生態系を「有機物生産工場」のように考えて生物の役割を評価することもできる

- 独立栄養生物
 - 光エネルギーを利用して有機物を生産
 - 生産者（一次生産者）ともいう
- 従属栄養生物
 - 独立栄養生物を食べてエネルギーを得る
 - 消費者（二次生産者）ともいう
 - 消費者を食べる二次消費者

エネルギーや無機化学物質は生物の個体が利用して有機物となり、最終的に環境へ放出される

- 個体レベルでも個体群レベルでもエネルギーや物質のフローは議論可能
- あくまで個体の物質代謝、エネルギー代謝が基本で、「生態系の代謝」はそれを合計したもの

生態系の代謝

- 食物網の解明が出发点。
- 食物網をもとに、どの生物が重要な役割を果たしているかを調べる。
- 役割を評価するための3つの尺度
 - 生物体量（バイオマス）
 - 化学物質のフロー
 - エネルギーのフロー

ワイタムの森にすむ4000種の生物の食物網を単純化したもの

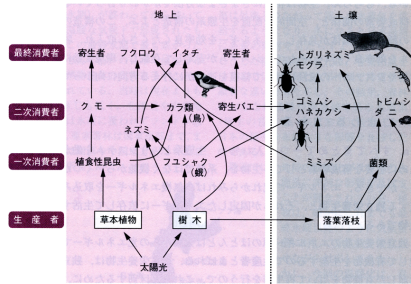


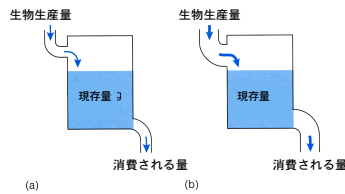
図9・1 英国のワイタムの森における食物網 C.S. Elton (1966) より描く。

生物体量 Biomass と 現存量 Standing crop

生態学では両者は同義で用いられる。

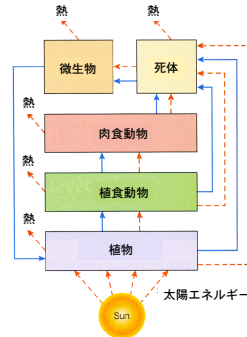
化石燃料など死体を含めてバイオマスということがあるが、生態学では生存している生物の総重量のこと。

現存量が同じでも生産速度が同じとは限らない



現存量を測っただけでは生産速度はわからない

エネルギーフロー (赤線) と化学物質フロー (青線)



化学物質は何度もリサイクルされるが、エネルギーが使われるのは1回だけで、リサイクルされない。

「炭素」と「エネルギー」がよく使われる

多くの種を一緒にして測ることの長所と短所に要注意
エネルギーフローの速度は種によって異なるのが普通。
化学物質の比率は種によって異なるのが普通。

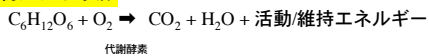
一次生産

生態系代謝のはじまりは植物による光合成
地球上の現存量の99.9%は植物

植物による光合成



植物による呼吸



光合成速度が呼吸速度を上回ったとき植物は生長する

総一次生産量 (速度) : 光合成によって固定されたエネルギー量 (または炭素量)

純一次生産量 (速度) : 総一次生産量 - 呼吸によって消費されたエネルギー量 (または炭素量)

必ず単位時間あたりの量で表す

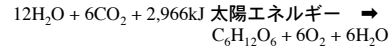
どうすれば自然状態の植物の総一次生産量と純一次生産量が測れるか?

(1) 直接法

植物の枝（または植物全体）をエアバッグに包んで、中のCO₂濃度変化量を測る。

- 昼間のCO₂減少量は純一次生産量を反映する
- 夜間は光合成がないので、呼吸だけによってCO₂が増加する
- 光合成も呼吸も温度に影響される
- 光合成は光の強度に影響される
- 光エネルギー量の時間変化、葉の温度の時間変化を知る必要がある

エネルギーフローは次の式から計算できる



6モルのCO₂の吸収は
2,966kJのエネルギー吸収に相当

技術的に難しいこと、装置が高価なことからあまり研究例は多くないが、最近になって増えてきた。

(2) 刈り取り法

もっと原始的な方法

現存量(B)の時間的変化から推定

$$\Delta B = B_1 - B_2$$

B_1 = 時間 t_1 の生物体量
 B_2 = 時間 t_2 の生物体量

別に測定しておくべき項目

L = 植物の枯死量や落葉落枝量
 G = 植食動物による被食量

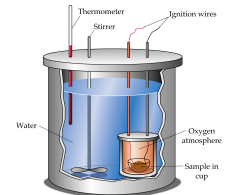
$$\text{純一次生産量} = \Delta B + L + G$$

生産量のエネルギー換算

カロリーメータを使って、生物体のカロリー当量を測定

種による違い
季節による違い
部位による違い

純一次生産量 × カロリー当量



森林の現存量の求め方



1. 調べたい森林をきめる
2. 調査区を作る
3. 毎木調査をする

次に、その中に生えている樹木を、何らかの基準を決めてそれ以上のサイズのものすべてについて、樹種、胸高直径(DBH)、樹高(H)を測定。

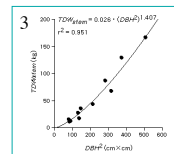
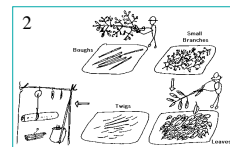
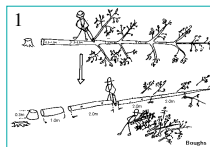
4. 試料木を決定して伐採する

方形区の中から、あるいはそれが困難な場合は周辺から、数本以上の木を伐採対象として決定。その際、毎木調査の対象としたサイズの範囲を網羅するように、小さなものから最大のものまでの範囲内で、さまざまなサイズが含まれるよう配分。

5. 土地面積あたりへ換算する

1. 伐採した木の、各部分（幹、枝、葉、根など；葉を葉齢でさらに細かく分けることもある）の重量を測定。
2. 個体ごとのそれらの重量と個体サイズ（しばしばDBH）の関係を調べる。
3. この重量と個体サイズの関係を用いて、方形区内の個体すべての各部分の重量を推定。
4. 各部分の重量をたしあわせれば、方形区内の各部分の重量が、すべてをたしあわせれば全体の現存量がわかる。

相対成長則から現存量を推定



毎木調査で調べたDBHから、
毎木の重量を推定し、面積
あたりの現存量に換算

森林の生産量の求め方

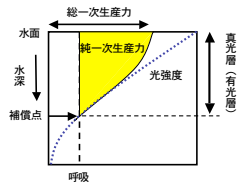


- 1. 現存量を求める**
上で述べた方法でt時とt+1時の現存量を求める。
- 2. 枯死脱落量を求める**
生産量を求めたい期間中の枯死脱落量を、リタートラップ法で求める。さらに、毎木調査の結果から、枯死木の量を推定。
- 3. 被食量を求める**
リタートラップ内の虫糞の重量測定や、葉面積中の被食面積の割合などによって被食量を推定。
- 4. これらから生産量を推定する**
2時点間の現存量の増加に枯死脱落量と被食量を足しあわせて生産量を推定。

水系の一次生産量の測定

暗瓶と透明瓶に水を入れていろいろな水界と水深に置く
O₂の収支から生産量を測定

水深と生産力の模式図



純一次生産量は植生のタイプによって異なる

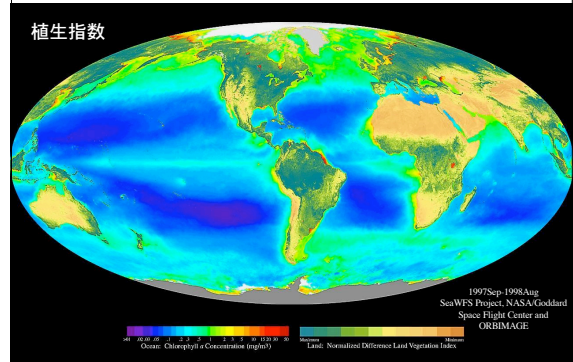
●世界のおもな生態系の現存量と純生産量

生態系	面積 (10 ⁶ km ²)	現存量(乾量)		純生産量	
		平均値 (kg/m ²)	世界全体 (10 ¹⁵ kg)	平均値 (kg/m ² ・年)	世界全体 (10 ¹⁵ kg/年)
森林	57.0	29.8	1700	1.40	79.9
草原	24.0	3.1	74	0.79	18.9
荒原	50.0	0.4	18.5	0.06	2.8
農耕地	14.0	1.0	14	0.65	9.1
沼沢・湿地	2.0	15.0	30	2.00	4.0
湖沼・河川	2.0	0.03	0.05	0.25	0.5
陸地合計	149.0	12.3	1836.6	0.77	115.2
浅海域	29.0	0.1	2.9	0.47	13.5
外洋域	332.0	0.003	1.0	0.13	41.5
海洋合計	361.0	0.01	3.9	0.15	55.0
地球合計	510.0	3.6	1840.5	0.33	170.2

陸地は地球表面の約3分の1の面積にすぎないが生物の現存量は大部分を占め、純生産量は地球全体の約3分の2にもなる。

地球の純一次生産量推定

植生指数



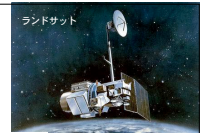
地球全体の生産量は衛星データから推定されている

原理

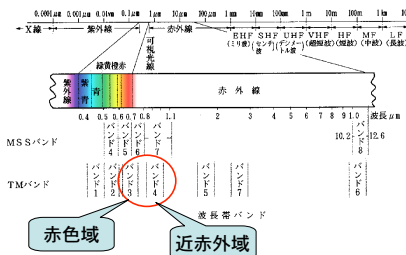
$$NPP = APAR \times \epsilon$$

- NPP = 純一次生産量 (炭素量で評価) $g/m^2/year$
- $APAR$ = 光合成に使われる波長域の放射光から地表面に吸収されたエネルギー $J/m^2/year$
- ϵ = 利用効率

植物は赤色域を吸収し、近赤外域を反射する



衛星データ：波長域が異なる7種類のセンサ



衛星データによる植生指数

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

NIR: 近赤外 (ランドサットTMの場合、バンド4) の反射率
RED: 可視・赤色 (ランドサットTMの場合、バンド3) の反射率

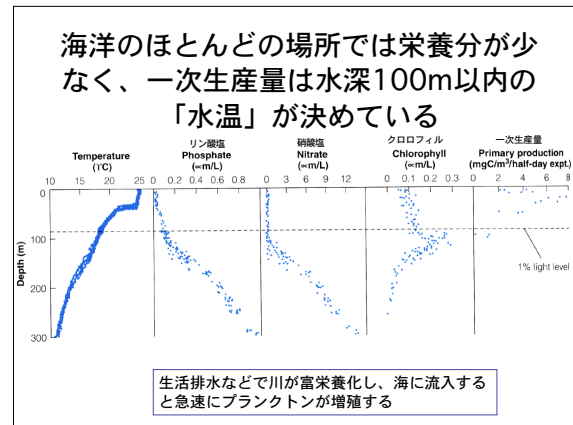
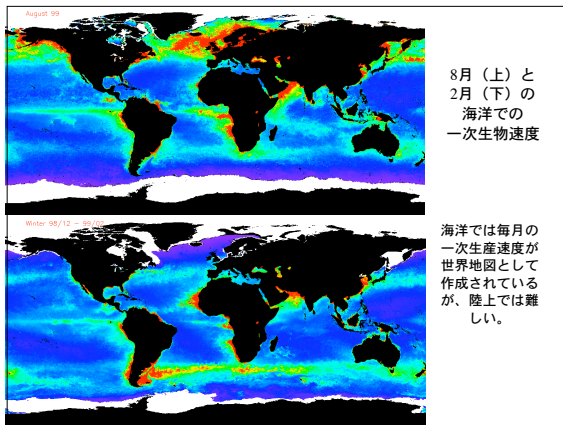
NDVIは-1.0から+1.0までの値をとることができ、値が大きいほど緑色が多く、小さいほど赤色が多いことを表す。

NDVIをAPAR (光合成エネルギーの吸収量) として用いる

難物は‘ε’

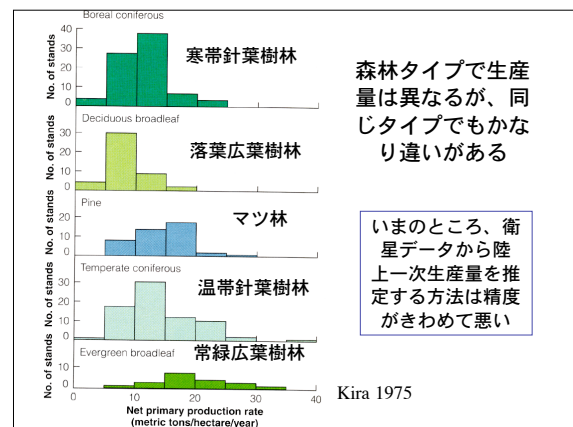
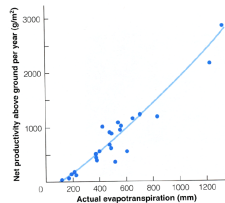
$$NPP = APAR \times \epsilon$$

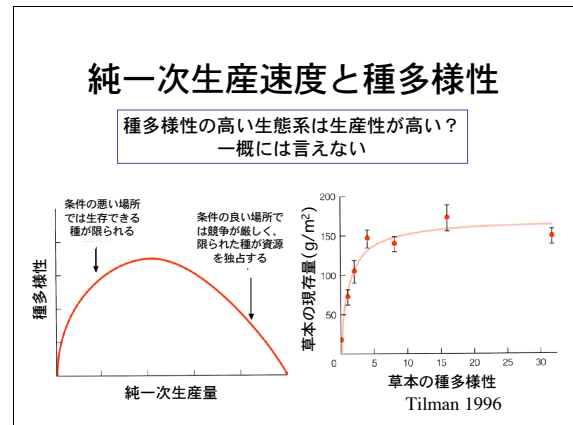
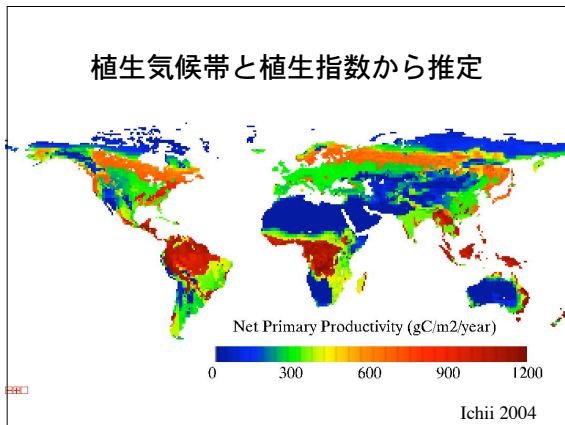
- 衛星データからは得られないので、地上で測定するしかない。生態系のタイプ (森林、草地、ツンドラなど) だけでなく、気温、水供給、土壤栄養によっても変る。
- しかし、海洋では、APARは海水面温度からだいたい推定できる。



陸上の一次生産量を左右している要因は多くて複雑だが、極相林に限定すれば蒸散量 (地表面と植物から蒸発する水分) と相関が高い

Rozentzweig 1968





地球スケールでは

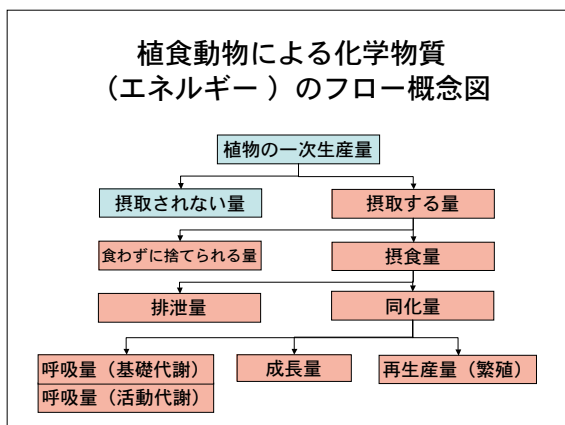
純一次生産量は
光、温度、雨量、栄養塩類
がほとんど決めている
(貧弱な土地では種数が関与する)

生態系の代謝における 二次生産者の役割

植食/肉食動物（二次生産者）はどれだけ植物が働いた純一次生産量のうわまえをはねて自分の生産にまわすのか？

↓

二次生産量の推定

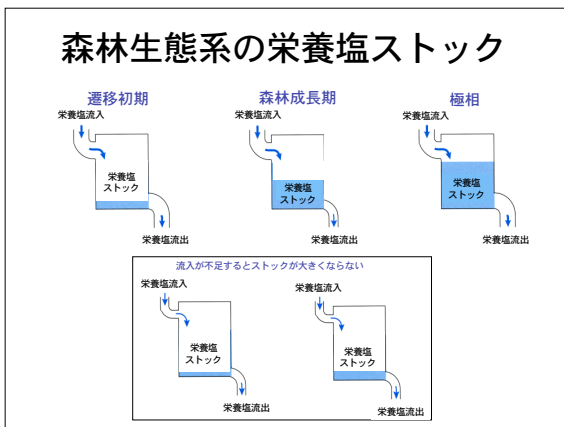
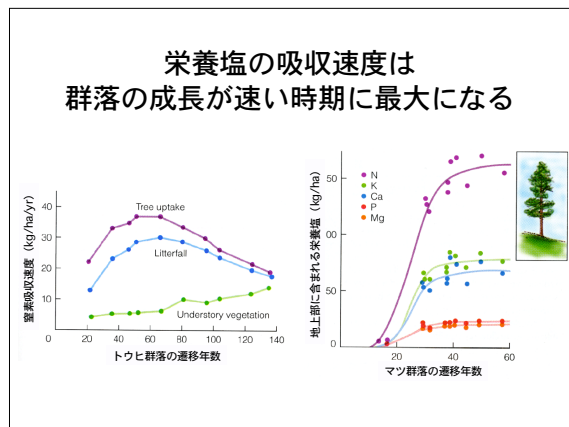
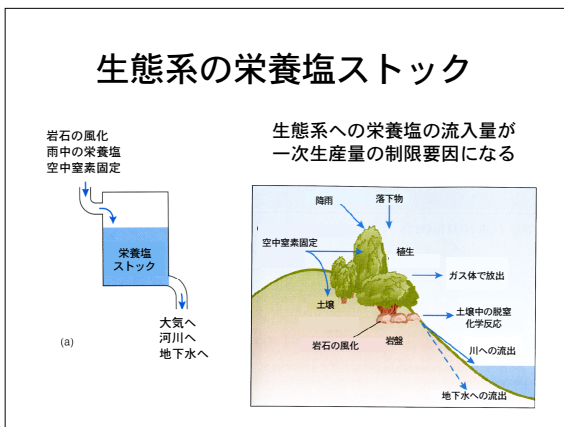
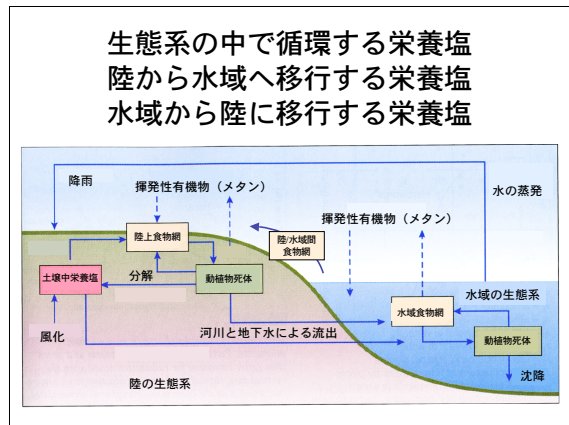
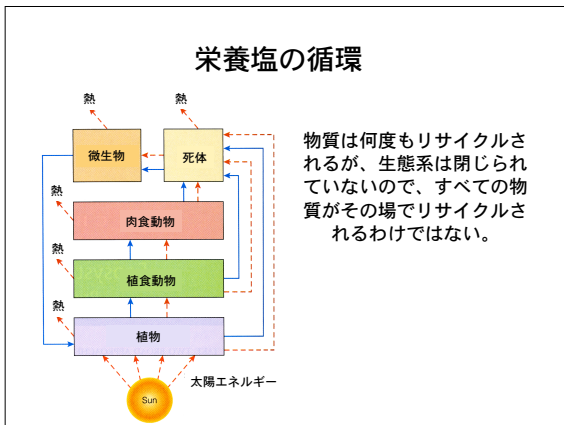


動物の種ごとに二次生産量を 測定することはできる

動物をまとめて二次生産者として評価することの問題

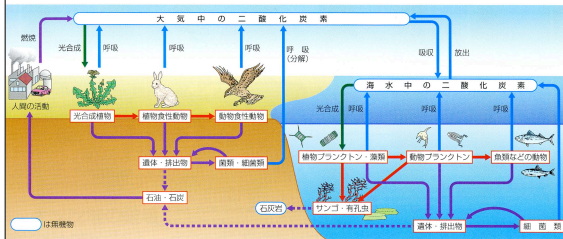
- (1) 純粋な植食動物は多くない。雑食の動物の扱い
- (2) 動物や植物の死体、糞を食う腐食者の扱い
- (3) 群集構造が安定している時しか測れない
不安定な群集のエネルギーフローを追いかける努力と資金は膨大

1960～1980年に盛んに研究されたが、生態系の動物を二次生産者にまとめて研究している人はほとんどいない

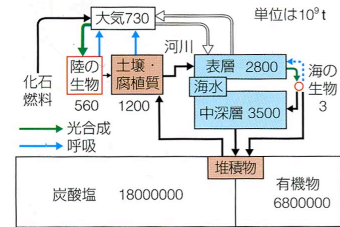


- ### 化学物質フローの人為的变化
- 化石燃料からの硫酸塩 → 酸性雨
 - フロン類 → オゾン層破壊
 - 生活排水、農業肥料からの硝酸窒素 → 水域の富栄養化（赤潮、透明度、珊瑚礁の消失...）
 - 化石燃料からの二酸化炭素 → 温暖化

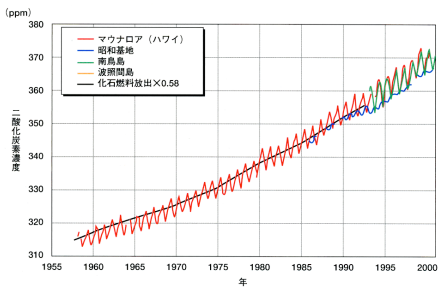
炭素循環



● 地球規模の炭素の分布と循環

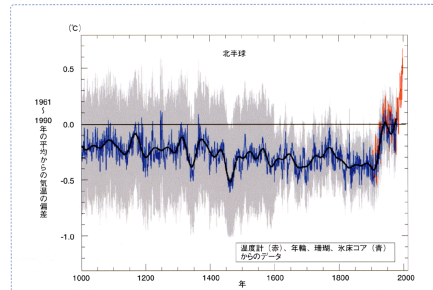


海洋には大気中の CO₂ をはるかに上回る CO₂ が溶けこんでおり、大気中の CO₂ 濃度の増減を緩和している。
化石燃料の多量使用により、大気中の CO₂ 量は年々増加している。



【図8】ハワイ島マウナロア (NOAA)、南極昭和基地 (国立極地研究所、東北大学)、南鳥島 (気象庁)、渡瀬間島 (国立環境研究所) での長期の大気中二酸化炭素濃度データを取りまとめたもの (WMO WDCGGより)。黒実線は化石燃料消費による二酸化炭素放出量の積算値の58%に相当する濃度。

温暖化



【図9】過去1000年における北半球の地上温度の変化 (IPCC, 2001) 青い実線は各年の年平均気温観測値、黒い実線はその50年移動平均を示す。黒い実線は年々の変動を除くための50年平均値を、灰色実線は観測値と50年平均値との差を示している。

生態系の代謝 重要語

- 一次生産
- 二次生産
- 現存量 (生物体量)
- 光合成速度
- 呼吸速度
- 衛星データ
- ランドサット
- TMバンド
- 植生指数
- 栄養塩
- 酸性雨
- オゾン層破壊
- 富栄養化
- 温暖化