

はじめて学ぶ海洋学： 第D4回

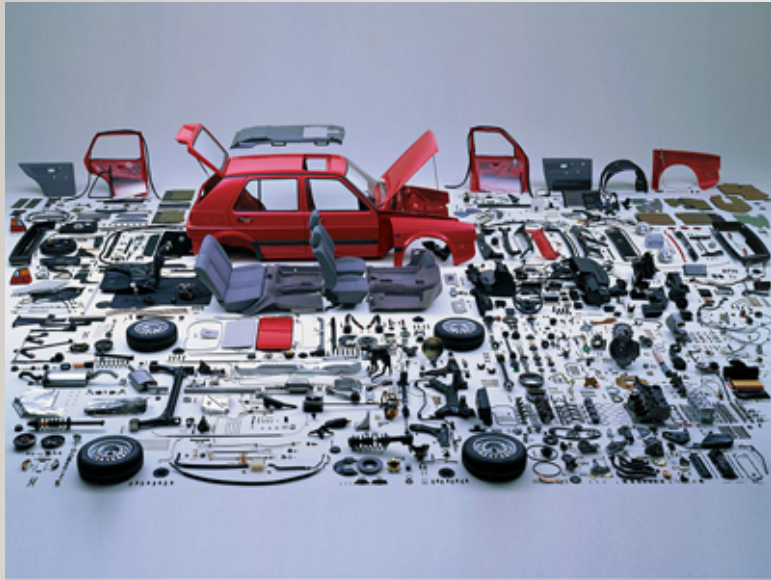
海の生物圏と地球科学

生き物は、体を作る材料と生命を維持するエネルギーが必要だ

教科書対応箇所 「第三章 海洋と生物圏のリンク」
p. 90 ~ p. 101



生物を車で考えると 様々なパーツ（+人間） + エネルギー = 動く



様々なパーツ

いろいろな材料(元素) から作り出した素材→加工→パーツ→組み立て



エネルギー

原油から精製したガソリン



そもそも我々人間を含めた生物圏と海洋はどんな関係になっているの？

生物は、その生命を維持するために

- 1) **エネルギー**の補給
- 2) 体を作る**材料**の補充

が必要不可欠。

つまり、物質の流れとエネルギーの流れを把握することが大切になる。

さらに、**繁殖行動**によって、次世代に情報を受け継がなければ滅亡する。

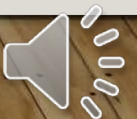


第4回の項目

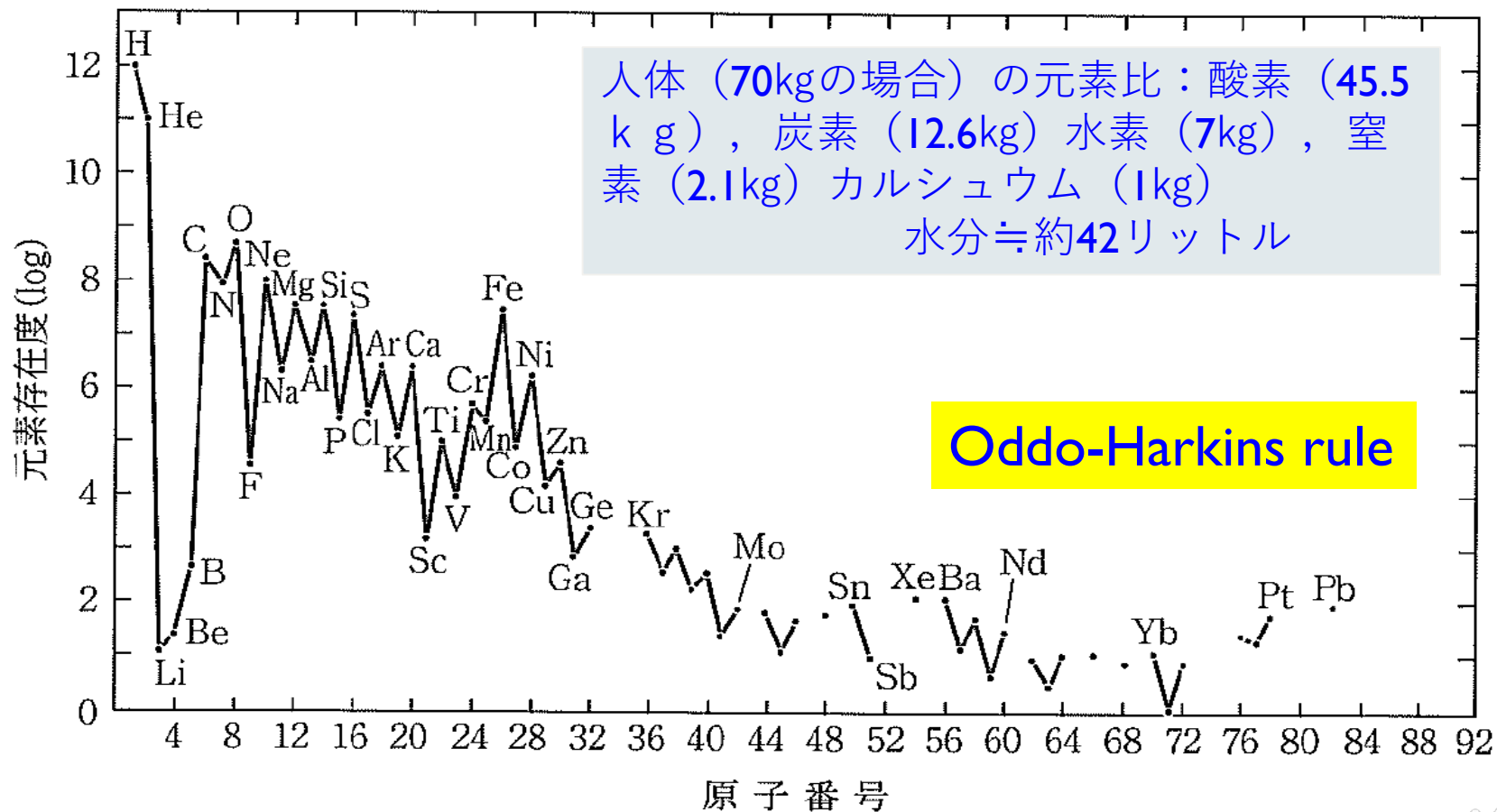
- 生命は海から発生した！？

深海底の熱水活動

- 基礎生産 (= 一次生産)
- 海洋生物の分類・分布
- 海洋の生態系 (**ecosystem**)をコントロールするもの
- 海洋の一次生産力と地球環境
- 海洋と生物のかかわり (有明海の例)

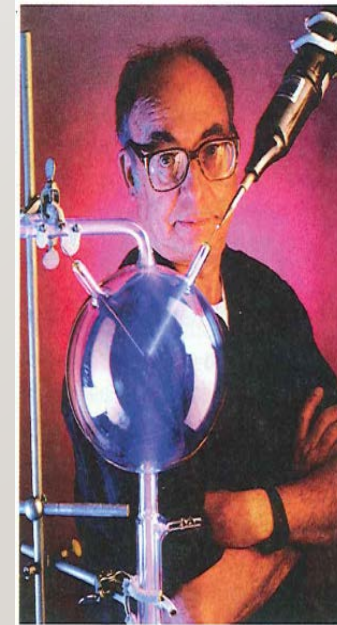
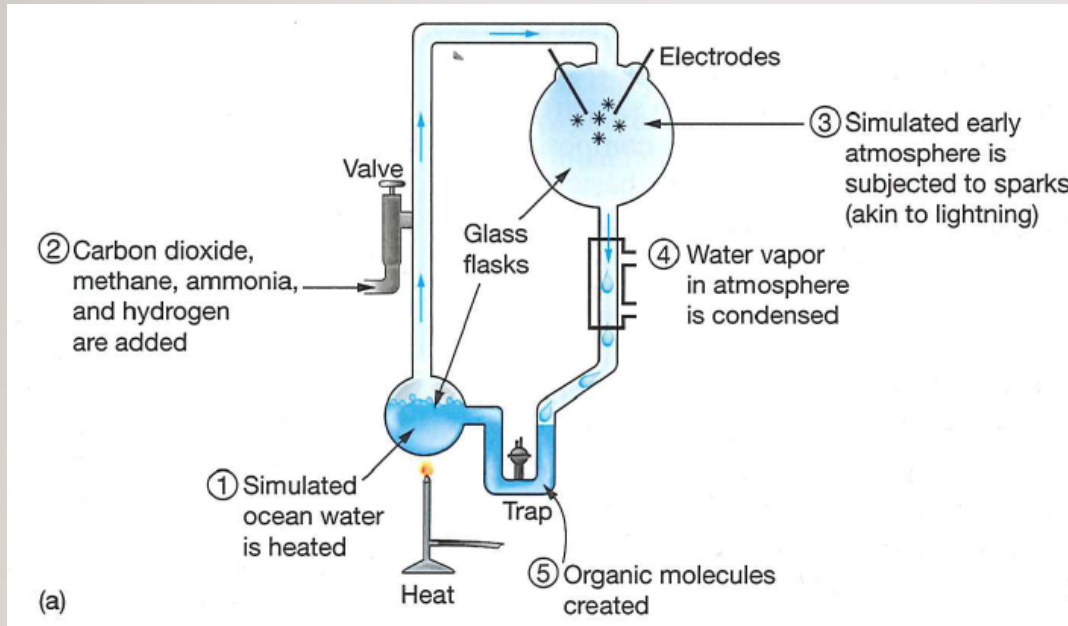


なぜ生物は、CとHとOが主体なのか？



反応性があって宇宙存在度が極めて高い元素群だから

地球における生命誕生のなぞ



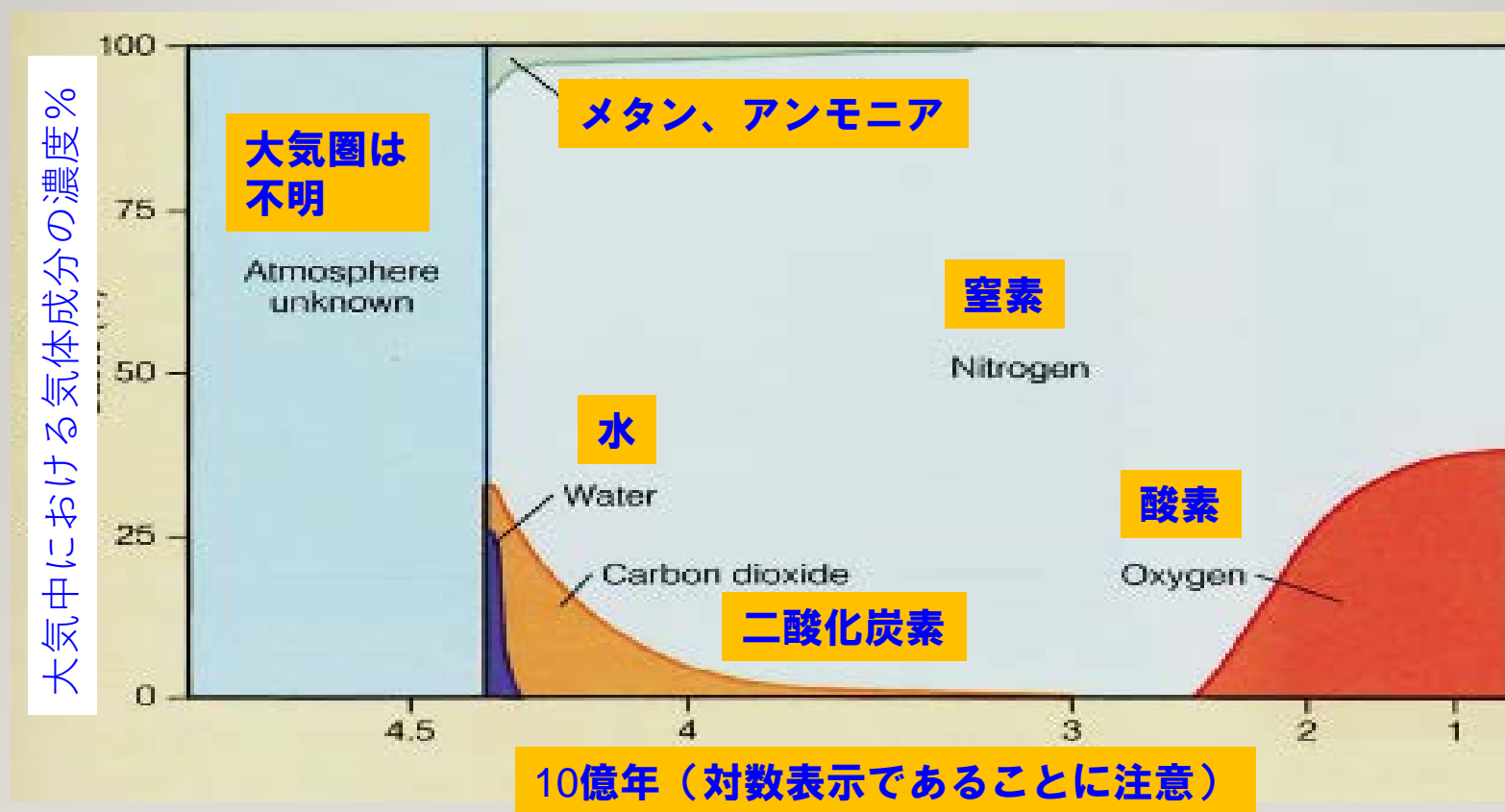
ユーリー & ミューラーの実験

(原始大気と海洋そして放電を使ってアミノ酸を合成)

原始大気および海洋組成に誤りがある。



地球史における大気組成の変遷



原始大気には、酸素が存在しないため、オゾン層が形成されておらず地球表層部は、強烈な紫外線にさらされていたと考えられている。

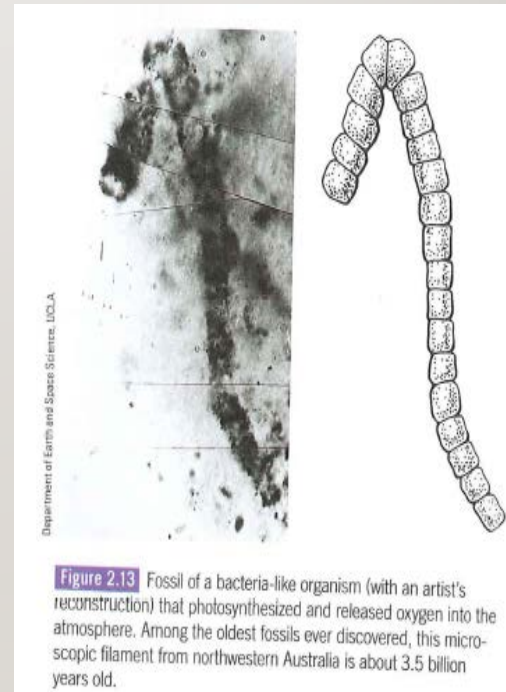


生命の海底起源説



© Copyright Ralph White/ORBIS
Figure 2.12 An environment for biosynthesis? Weak sunlight and unstable conditions on Earth's surface may have favored the origin of life on mineral surfaces near deep-ocean hydrothermal vents similar to the one shown here.

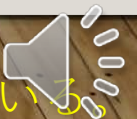
太陽光が弱く、不安定な地表面よりは、熱水活動の盛んな深海底が、生命を育むのに好都合なのでは？



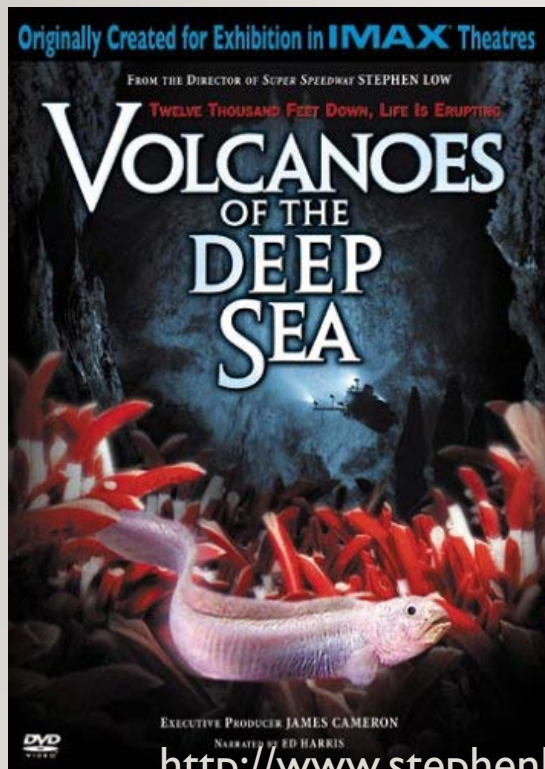
Department of Earth and Space Science, UCLA
Figure 2.13 Fossil of a bacteria-like organism (with an artist's reconstruction) that photosynthesized and released oxygen into the atmosphere. Among the oldest fossils ever discovered, this microscopic filament from northwestern Australia is about 3.5 billion years old.

35億年前の岩石にバクテリアのような痕跡が

現在は、蛇紋岩海山の湧水域が新たな生命誕生の地として浮上してきている。



深海底熱水活動と生物群集 原始地球の姿かもしれない



- **How do the vents change our understanding of life?** The existence of an ecosystem based on chemosynthesis has overturned many assumptions about the nature of life – in particular, the idea that sunlight is essential for life to thrive. There is evidence that life on Earth may have originated in the vents, rather than in the upper reaches of the ocean. Even more exciting is the prospect of finding life elsewhere in the universe. It seems increasingly likely that life might exist elsewhere in our own solar system; here organisms resembling the chemosynthetic microbes at vents might exist, perhaps forming the base of complex food webs comprised of higher organisms. Lately, much attention has been focused on Europa, a frozen moon of Jupiter. Observations show that the ice covering the planet shifts, perhaps indicating the presence of water beneath the ice – and, possibly, of chemosynthetic-based life forms.

しかし、現在は、蛇紋岩海山の湧水域が新たな生命誕生の地として浮上ってきている。

ORGANIC MOLECULES ON MARS

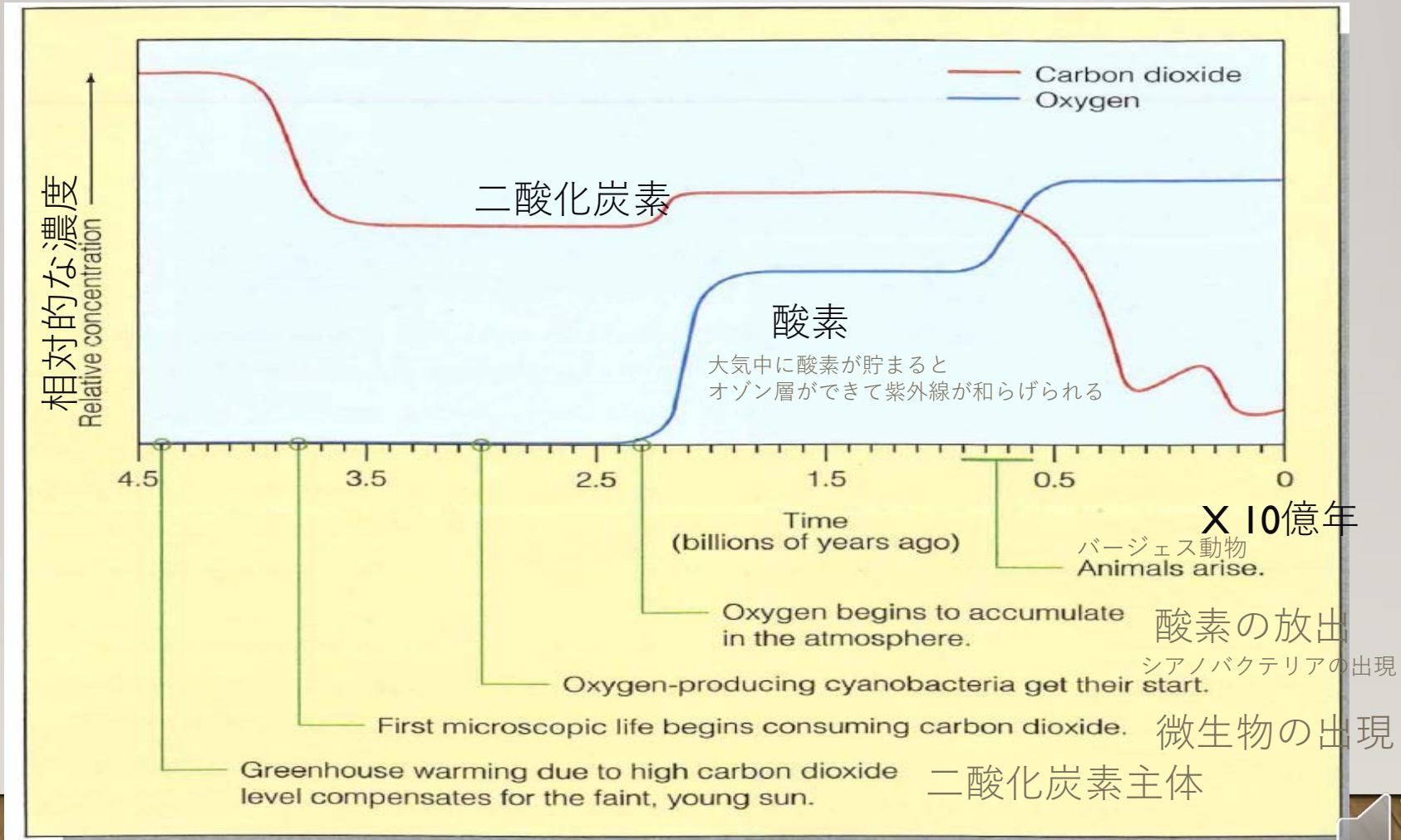


Data from the Curiosity rover provide evidence for organic molecules in ancient Martian rocks and in the atmosphere

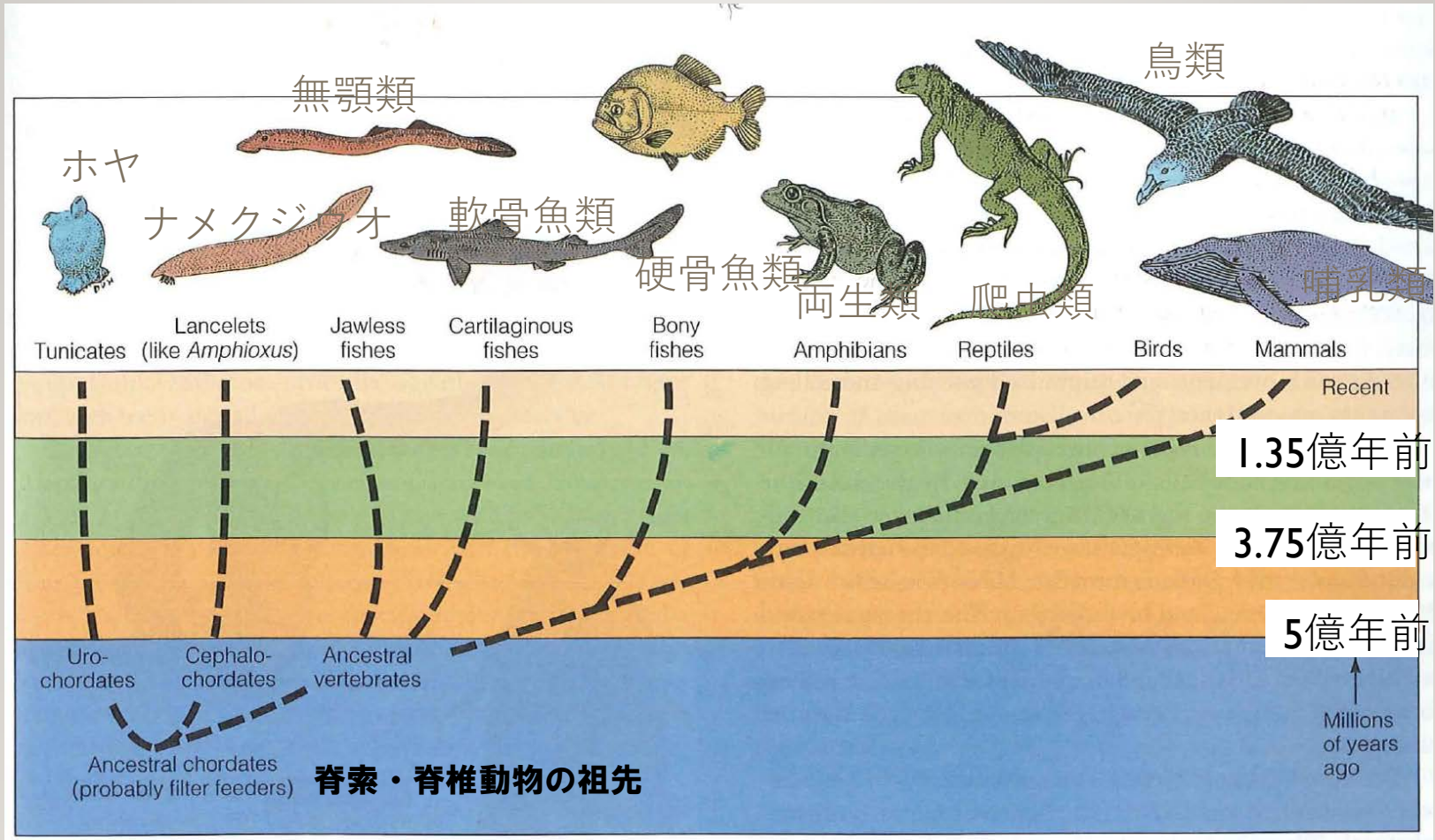
Inge Loes ten Kate (2018) Science, vol 360, Issue 6393, 1068–1069.



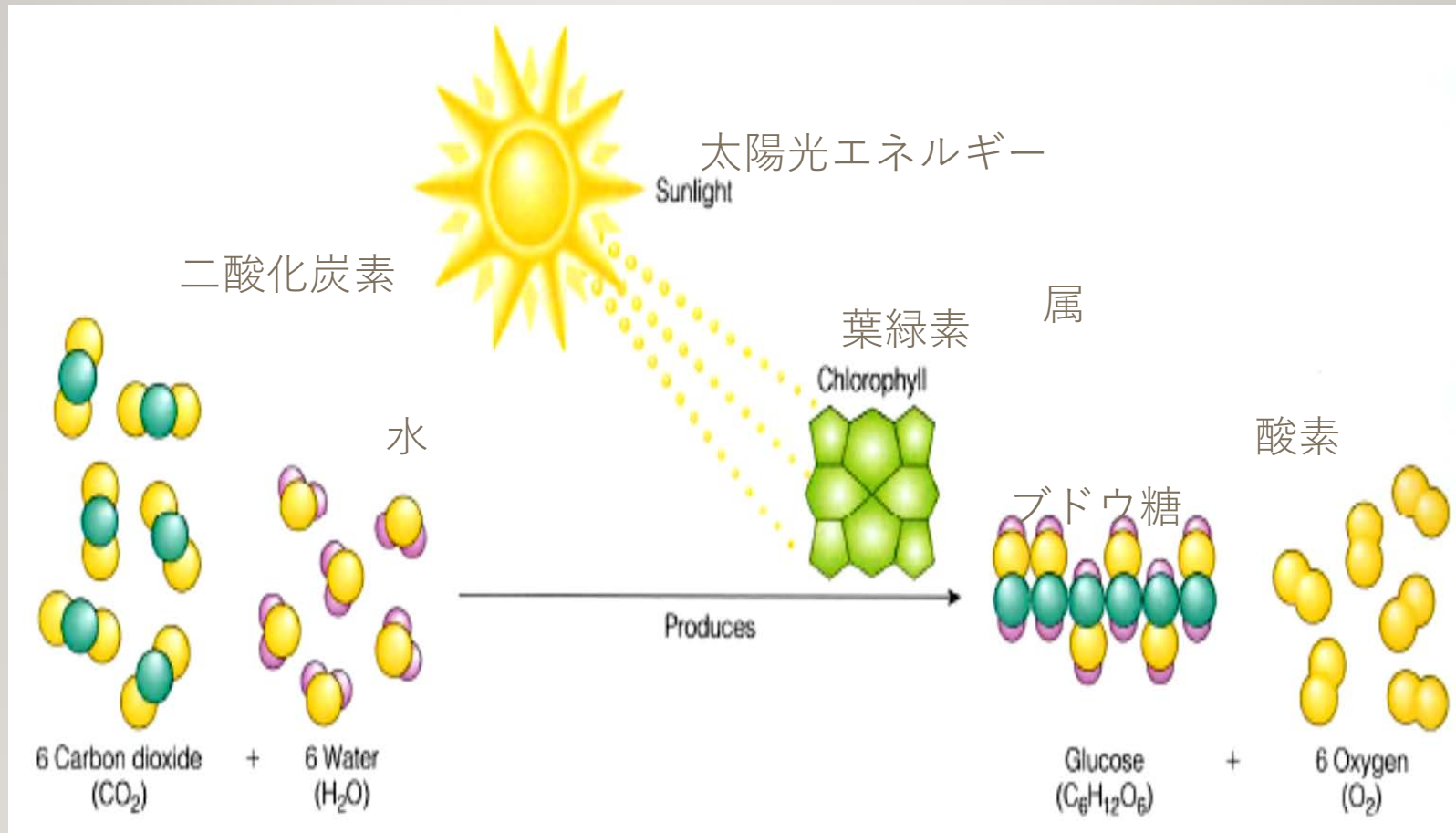
地球大気組成の歴史的変化



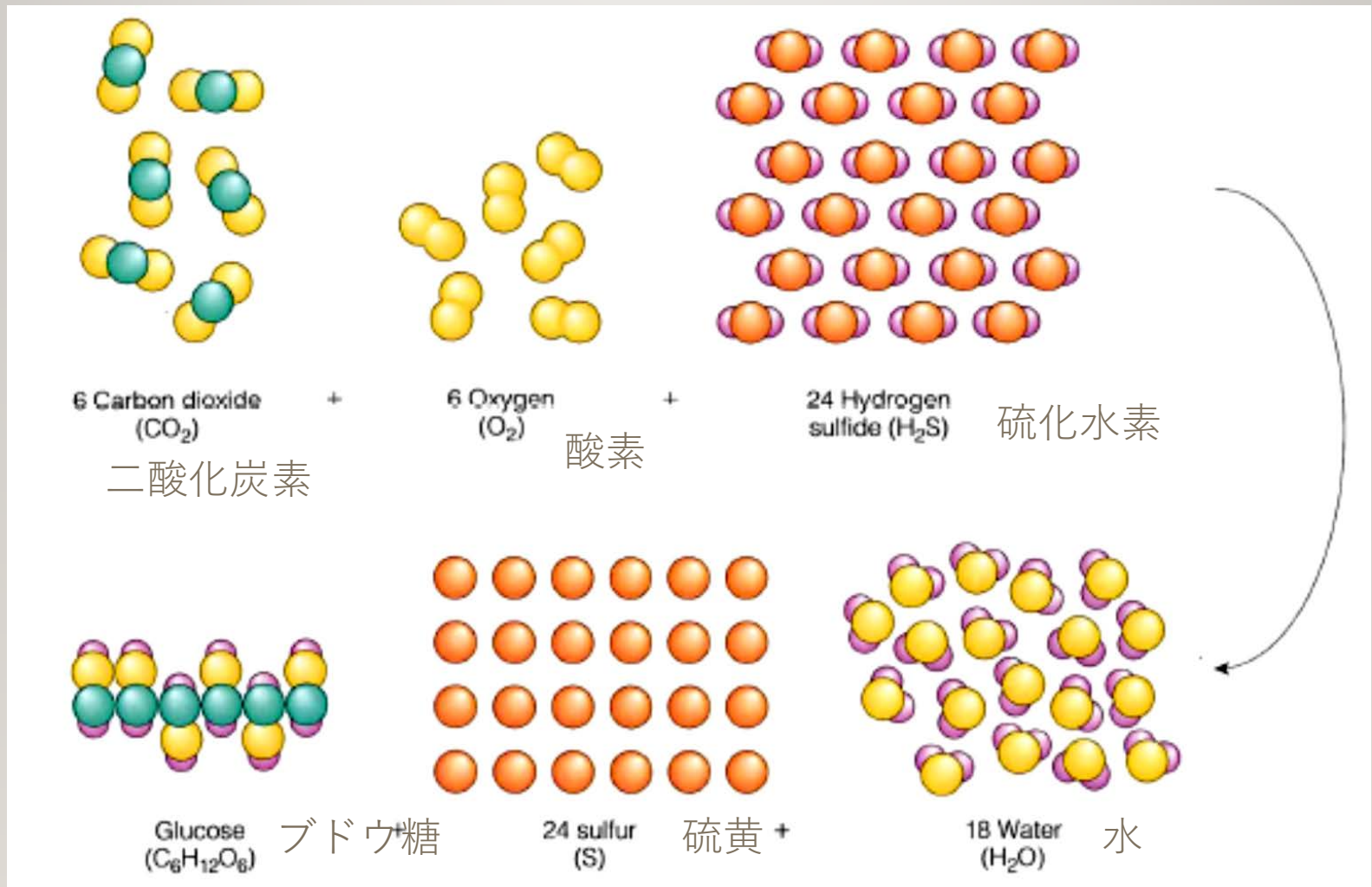
我々の祖先は、ホヤやナメクジウオ



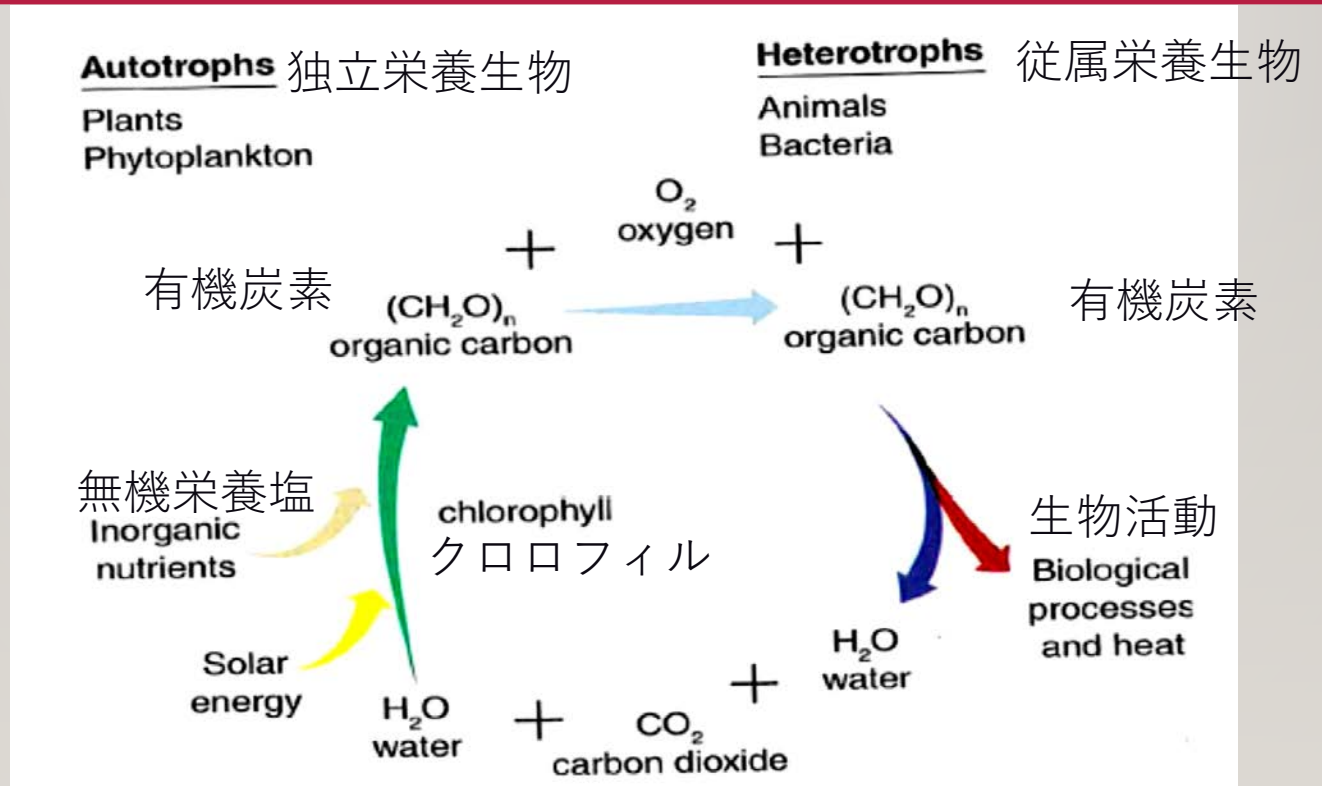
光合成：太陽エネルギーを有機物に変換



化学合成：化学反応エネルギーを有機物に変換する



生物間におけるエネルギーサイクル



太陽エネルギー



エネルギーの流れ

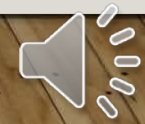
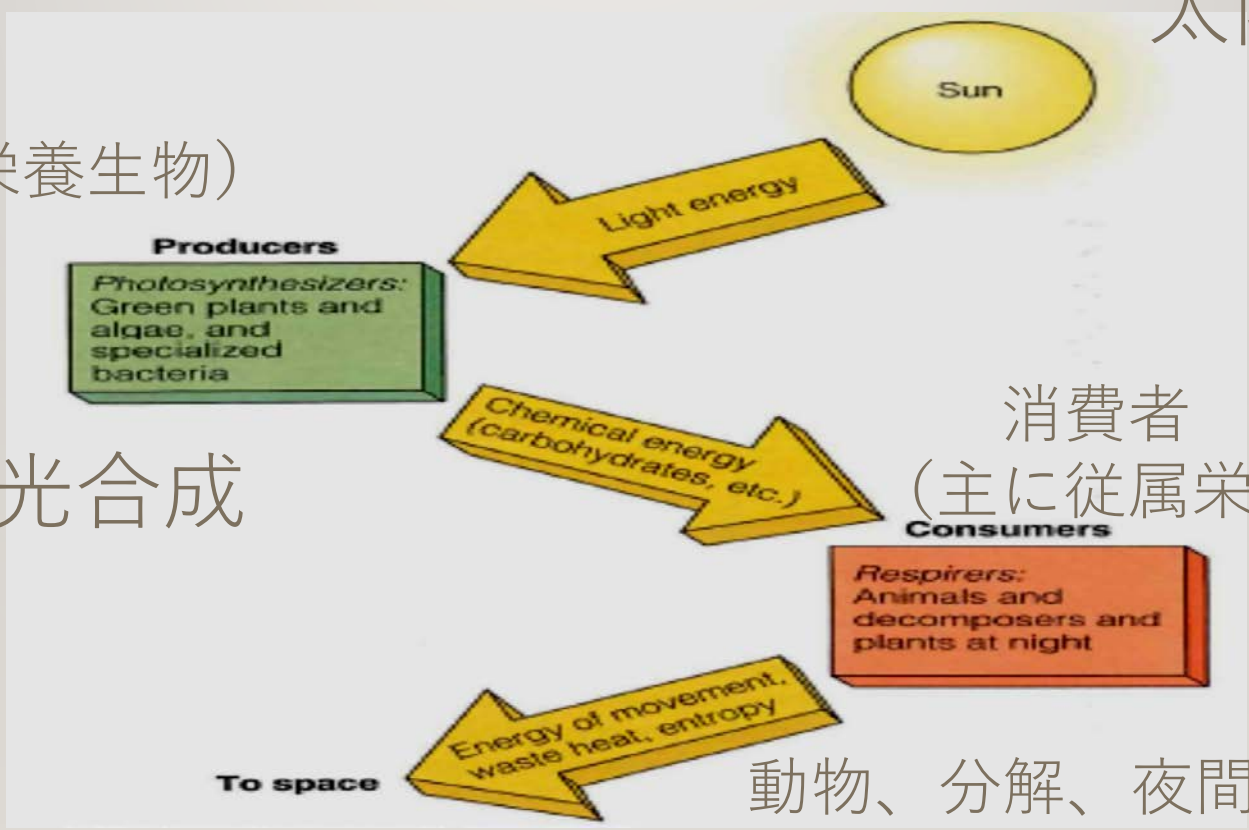
太陽

生産者
(独立栄養生物)

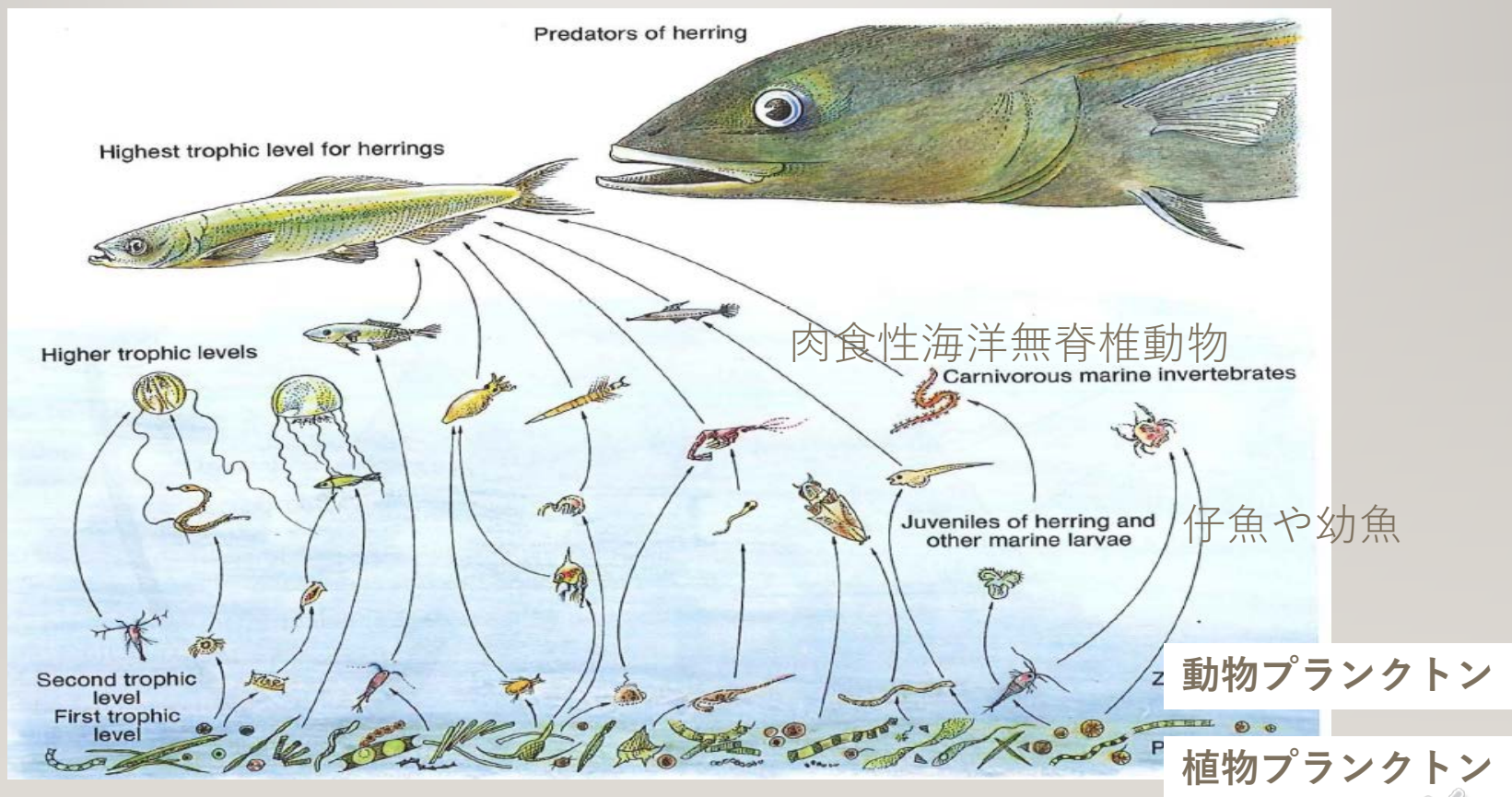
光合成

消費者
(主に従属栄養生物)

動物、分解、夜間の植物



エネルギーと材料確保のために (食べる運命にある、従属栄養生物)



エネルギーが大きくなる時の食物網：幼魚や仔魚の時代より低次の捕食者によって食べられてしまう



食物連鎖というよりは、食物網

5次トップ肉食

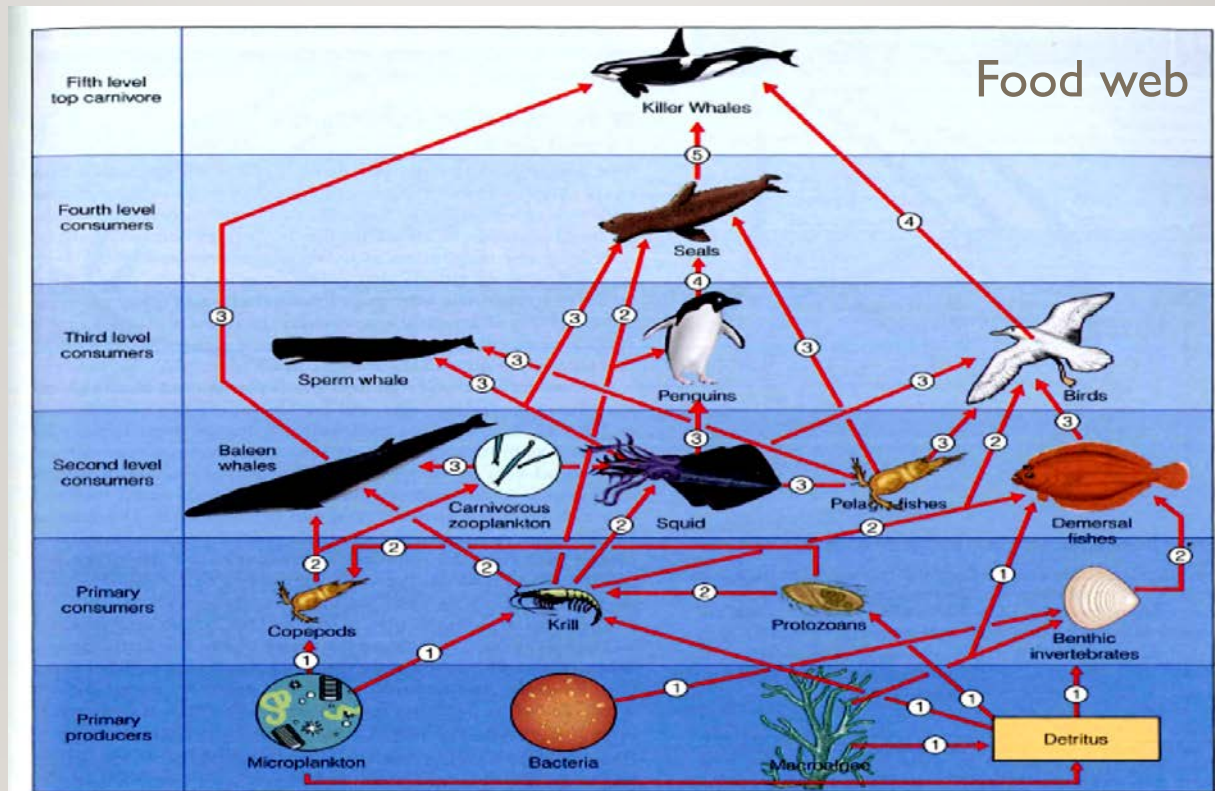
4次消費者

3次消費者

2次消費者

1次消費者

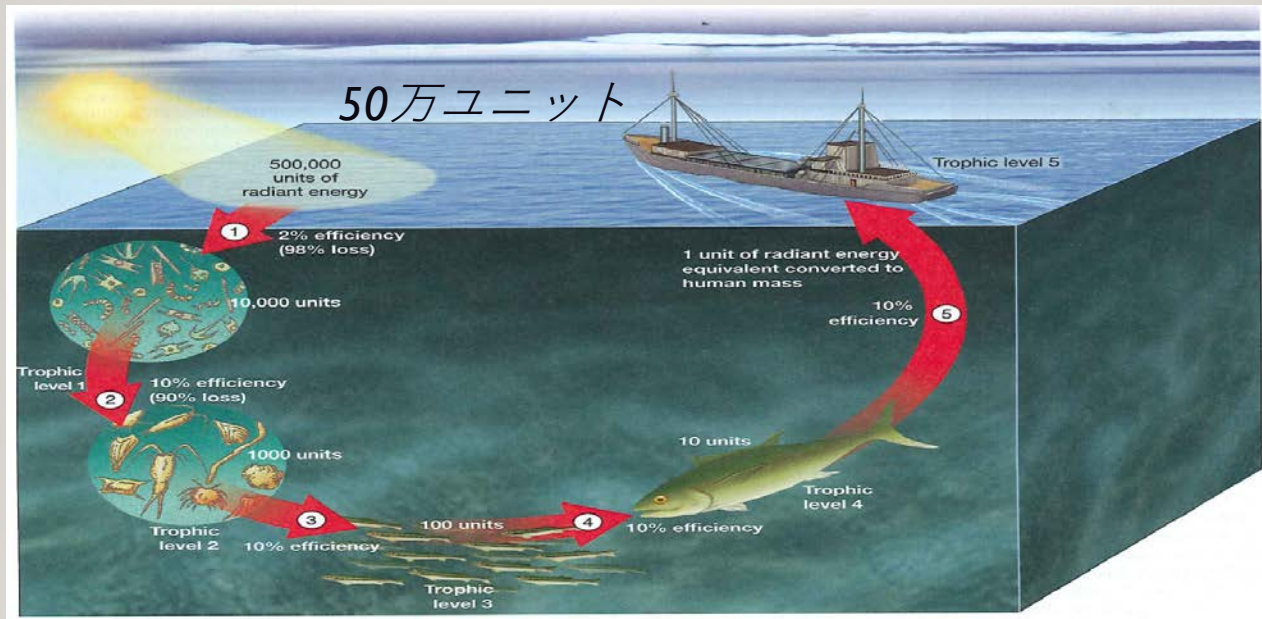
1次生産者



相互関係が複雑で、まるで蜘蛛の巣



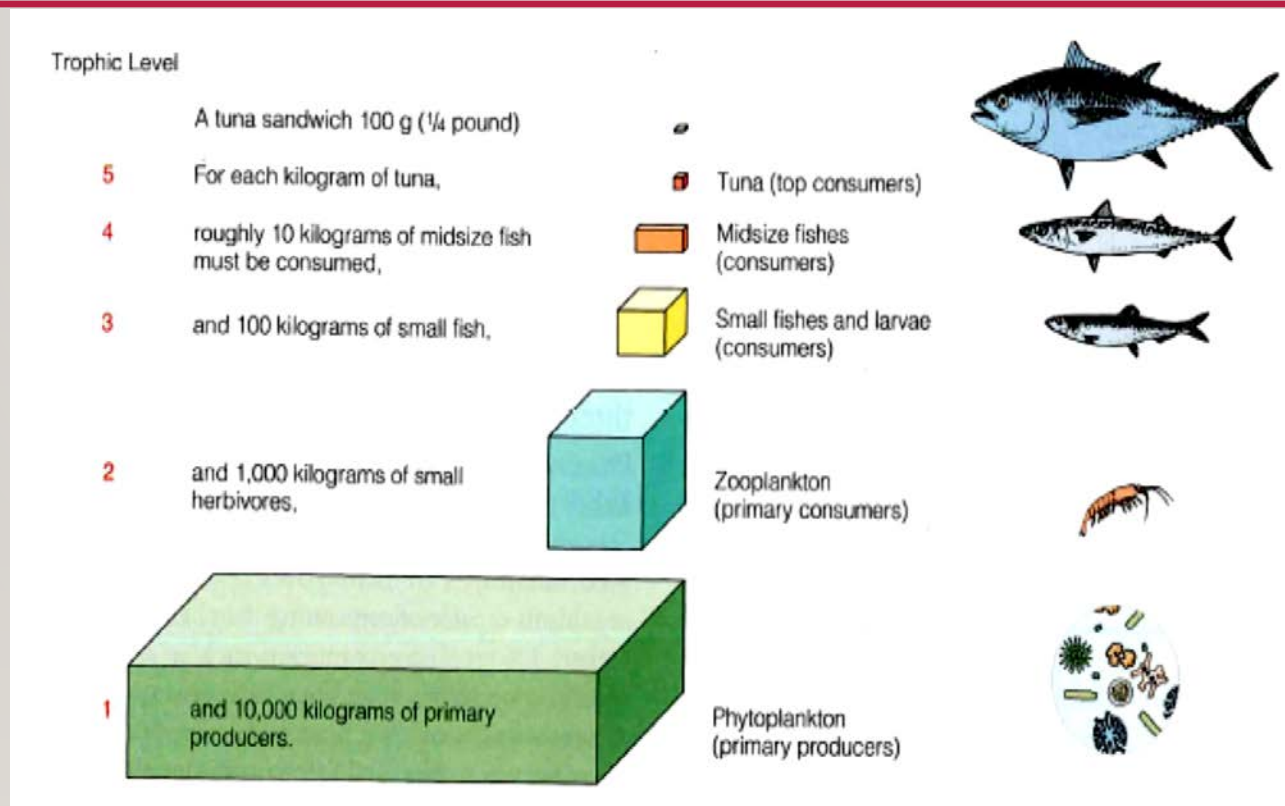
エネルギー交換効率



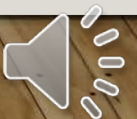
太陽の放射エネルギーを食物網を介して人間が取り込むとき、エネルギー交換効率は50万対1程度になる。



食物の材料としての効率



100 g のマグロを作るのに必要な材料（一次生産）は、10 トンに達する。



生物の成長は、一年が基本単位ではない。

- 人間（20歳：60kg）が成長するのに、1日に平均1kgの食糧を食べると仮定する。
 $1\text{kg} * 365 * 20 = 7300\text{kg}$ 7.3トンを消費し、大人になって繁殖行動を行う。

繁殖行動の後、生まれてくるのは、10月10日後。

その後は、毎年増殖することが可能。

- 宇宙人の襲撃で、繁殖期をすぎた人間が食糧とされたら
 $(40\text{億人} * 60\text{kg}) / (40\text{億宇宙人} * 1\text{kg})$
= 60日分の食糧

宇宙人は飢え死にしちゃうから、繁殖期に満たない人類も食糧とし始め、人類を絶滅の淵に追いやり、宇宙人も滅亡の道を進む。

桃栗3年、人15~30年

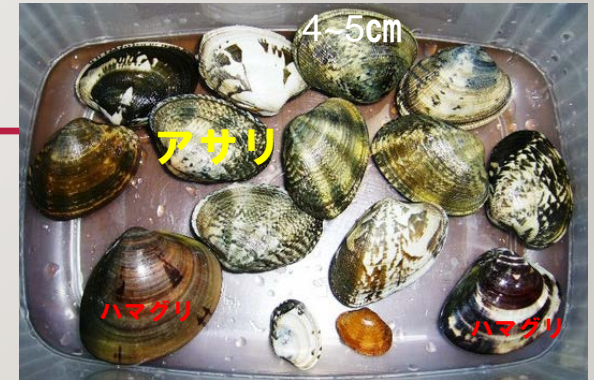
1973年アメリカSF映画：ソイレント・グリーン（ベートーベンの田園がソイレント・グリーン）
主人公が最後に発した言葉 “Soylent Green is PEOPLE!” は今も耳に残る。



サイズの違いは、年齢の違い



瀬戸内海の研究例では、1年：体長8cm、2年：12.5cm、3年：14.5cm、4年：16cm、5年：17.5cmにしかならないらしい。尺ギスは、8年を超える。上に写真は天草のシロギス。恐らくこの位の期間、海で暮らしていたのだろう。



浮遊幼生となり、1日目（トロコフア）2日目（D状期0.1mm）、アンボ期、フルグロウン期0.2mmを経て2～4週間で着底する。着底直後の稚貝は足糸を分泌して砂礫等に付着し、成長とともに足糸は退化する。その後、着底初期稚貝（0.25mm）1～1.5ヶ月稚貝（1mm）4～6ヶ月稚貝（10～20mm）8ヶ月～1年貝（25～30mm）、成貝1～2年以上（35～40mm以上）と成長していく。

上に写真は、4cm以上だから3年以上捕まらずにいたアサリかもしれない。

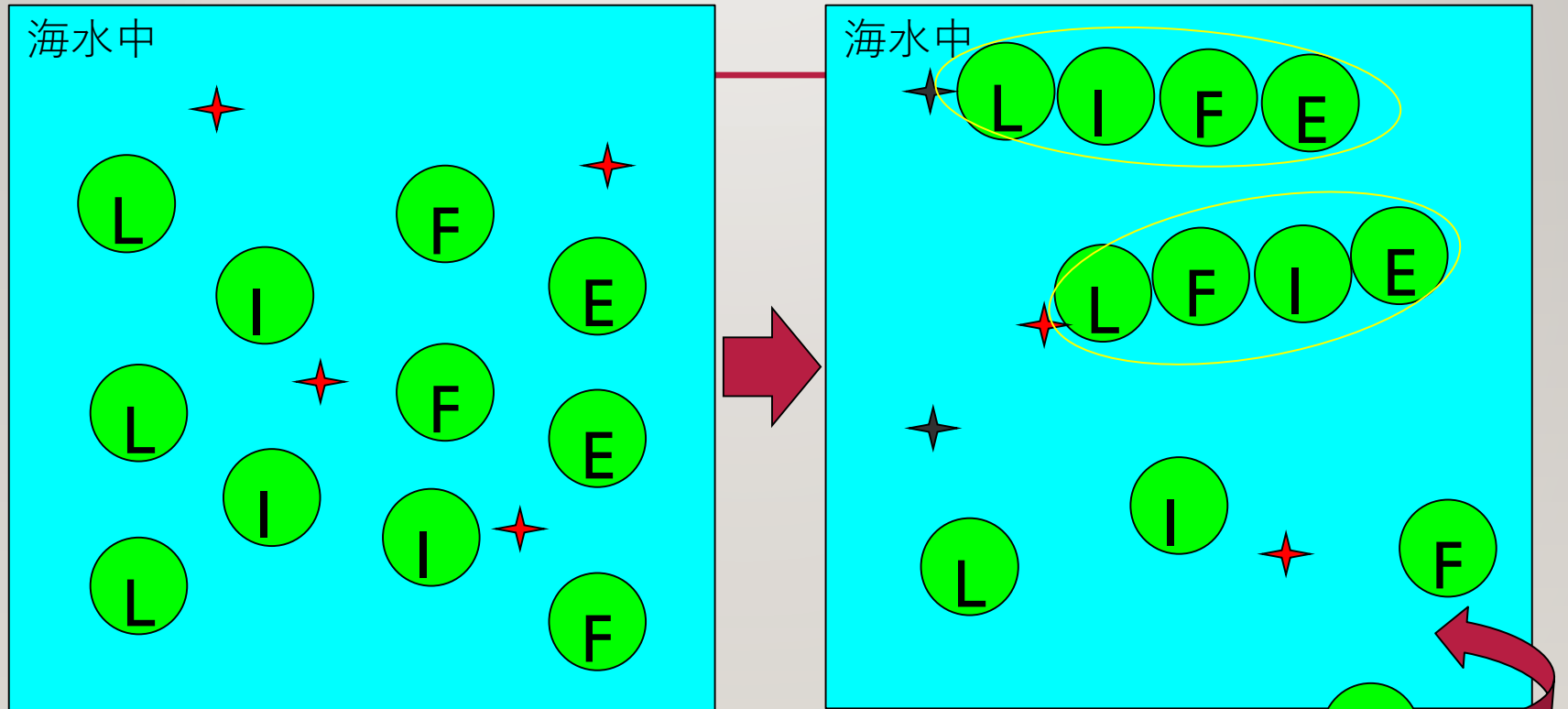
漁師は生活のために、毎日漁をするが、生物は毎日増殖しているわけではない。農産物でさえ、毎日収穫できない事を考えれば、容易に想像がつかず。

太陽エネルギーだけでは決まらない

一次生産量をコントロールするもの



例えば、生物数を材料が決める場合



海水中の材料物質： L、 I、 F、 E、
生物を作る設計図： 赤星、オレンジの星
生物活動を支えるエネルギー： 過剰に存在

系外から材料が
加わると数が個体
数が増える



海水中の栄養塩類濃度と生物生産の関係 (硝酸、磷酸、珪酸)

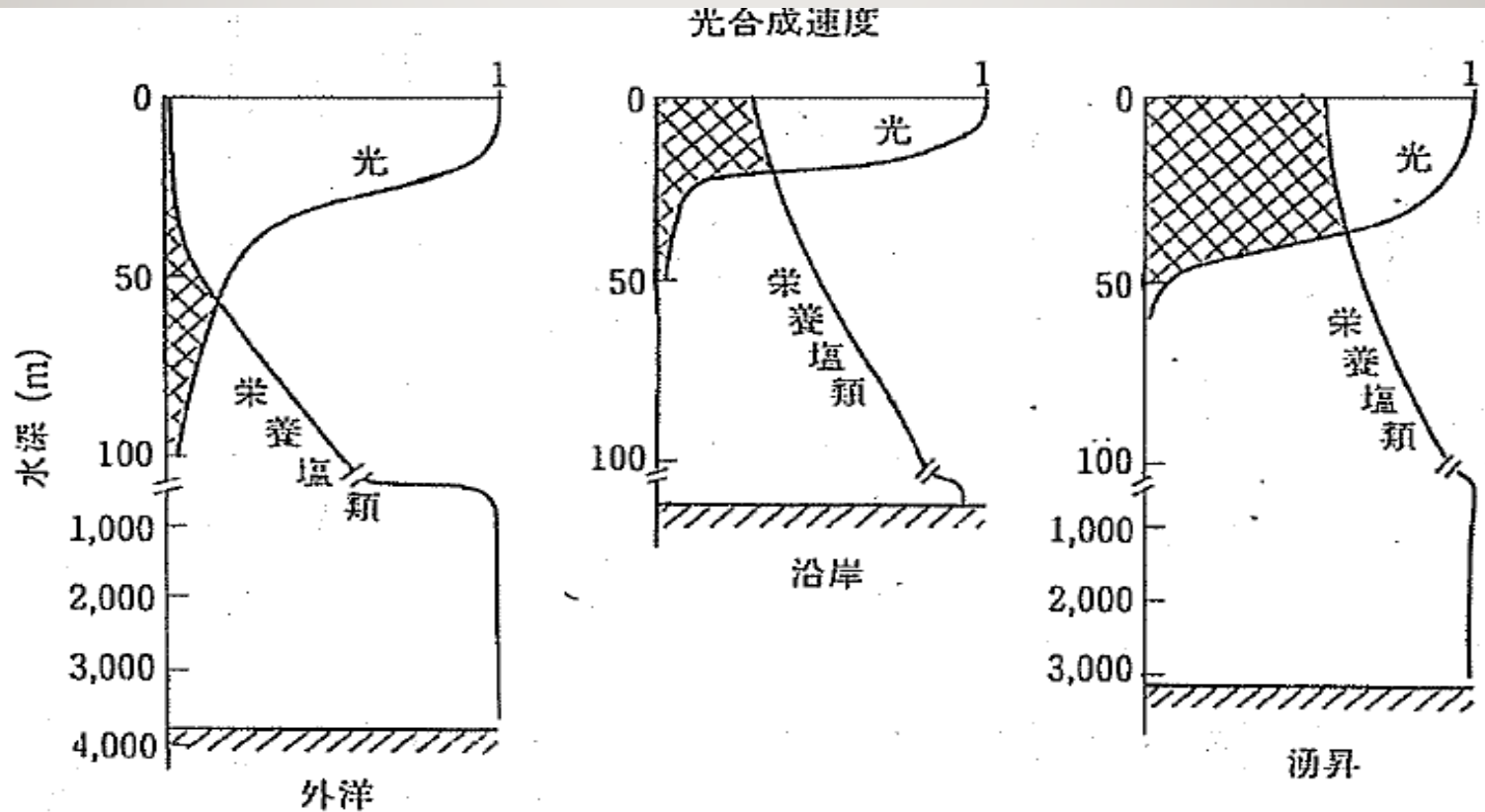


図4-14 海洋での光と栄養物質による光合成のコントロール
網掛け部分が実際の光合成。

Biolimiting : 生物生産を制限する物質



一次生産力の分布

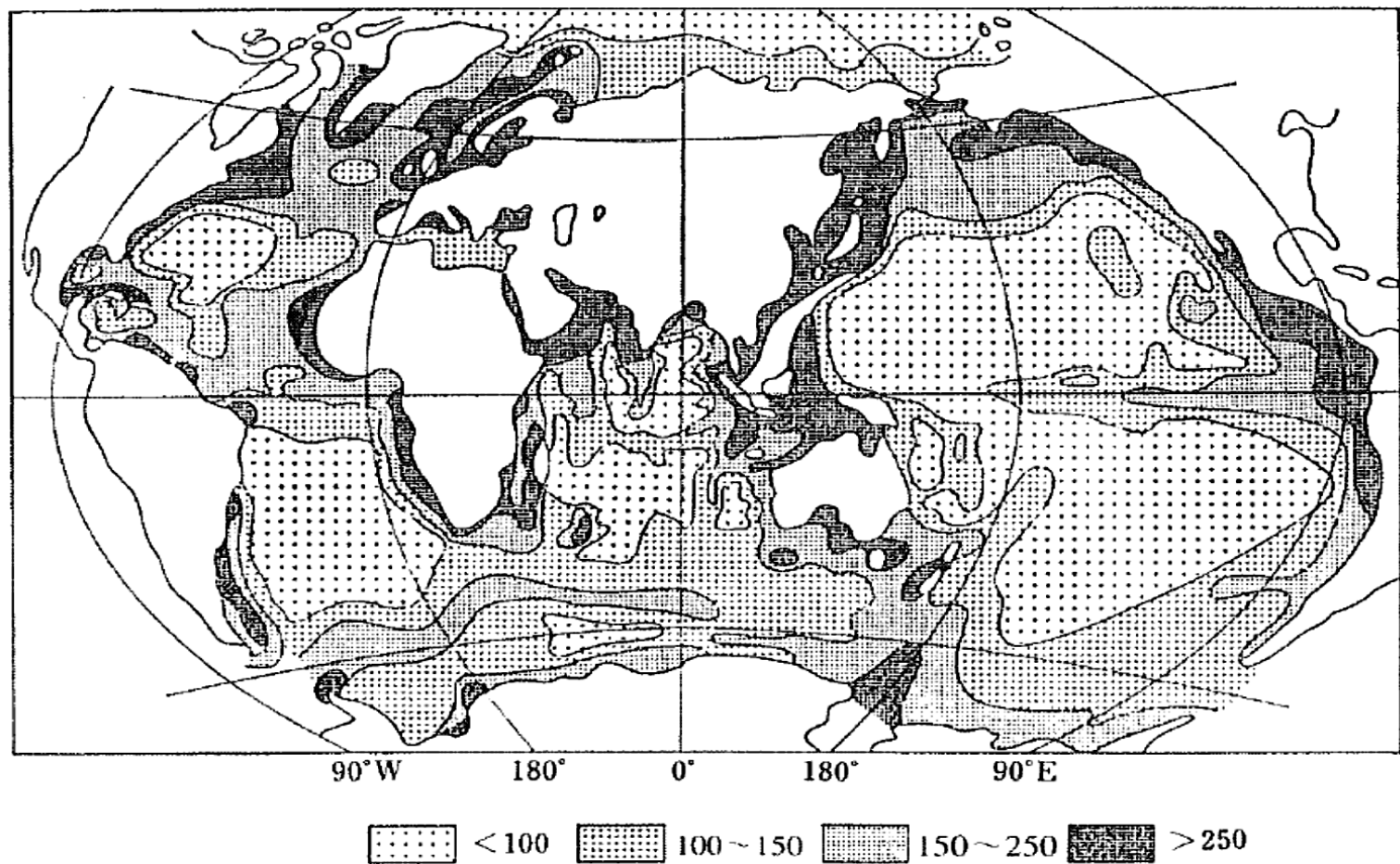
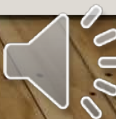


図 8-1 海洋の 1 次生産力 ($\text{mgC} / \text{m}^2 / \text{day}$) の分布 (Koblentz-Mishke et al., 1970)

沿岸域や太平洋の中央部に生産性の高い地域が存在する。



一次生産をコントロールする地域性

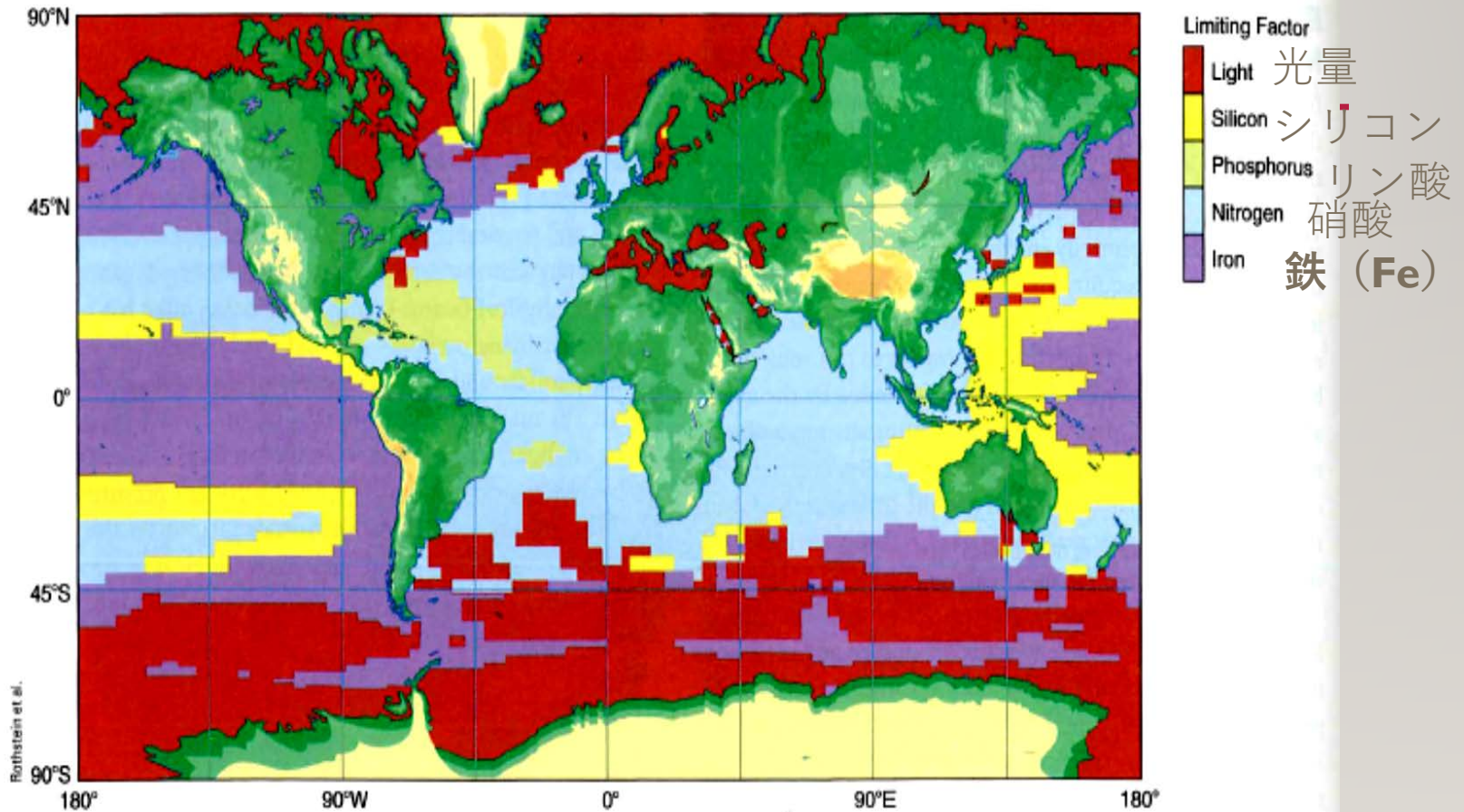


Figure 13.13 The factors limiting the growth of diatoms (important small photosynthetic organisms) in the ocean's mixed layer.

Absence of any one factor, even though all others are present in adequate amounts, will prevent the organisms from thriving.

高緯度では、光量が支配し、低・中緯度では栄養塩類が支配する。



条件が整うと、植物プランクトンが増殖 (**SPRING BLOOM**)

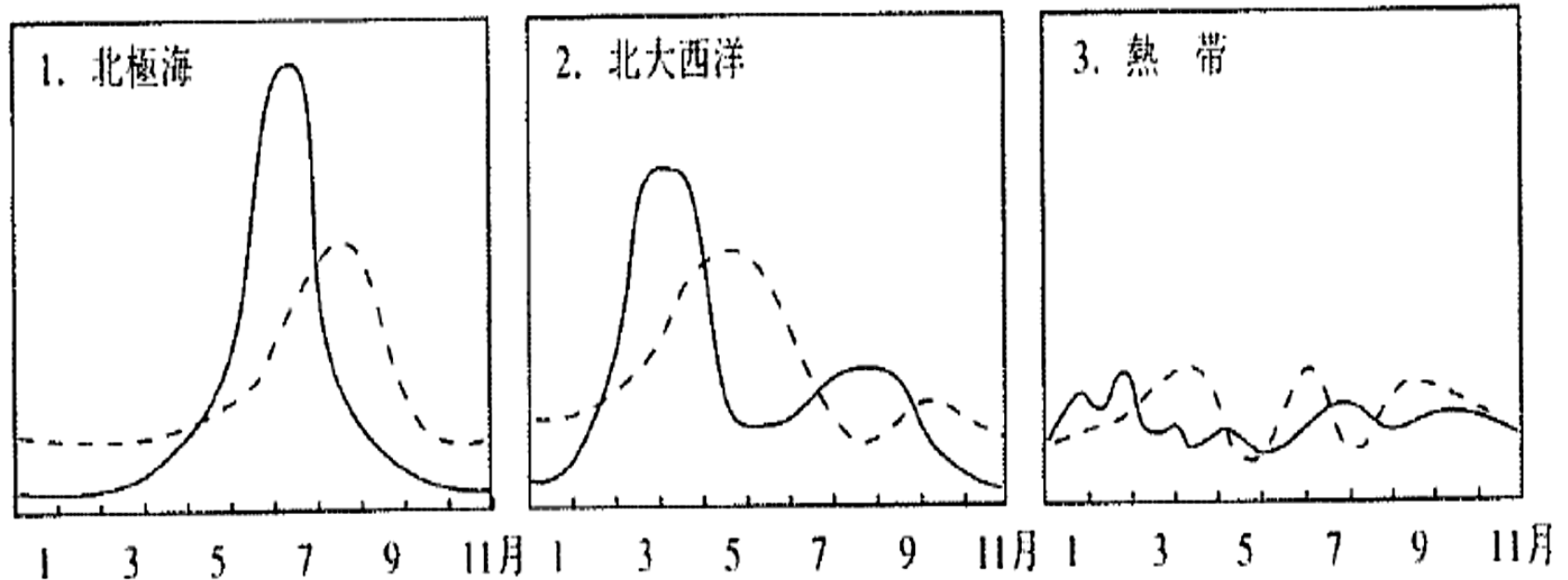
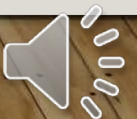
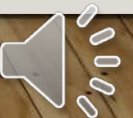


図 8-9 植物プランクトン（実線）と動物プランクトン（破線）の生物量の季節変動の一例
(Heinrich, 1962)

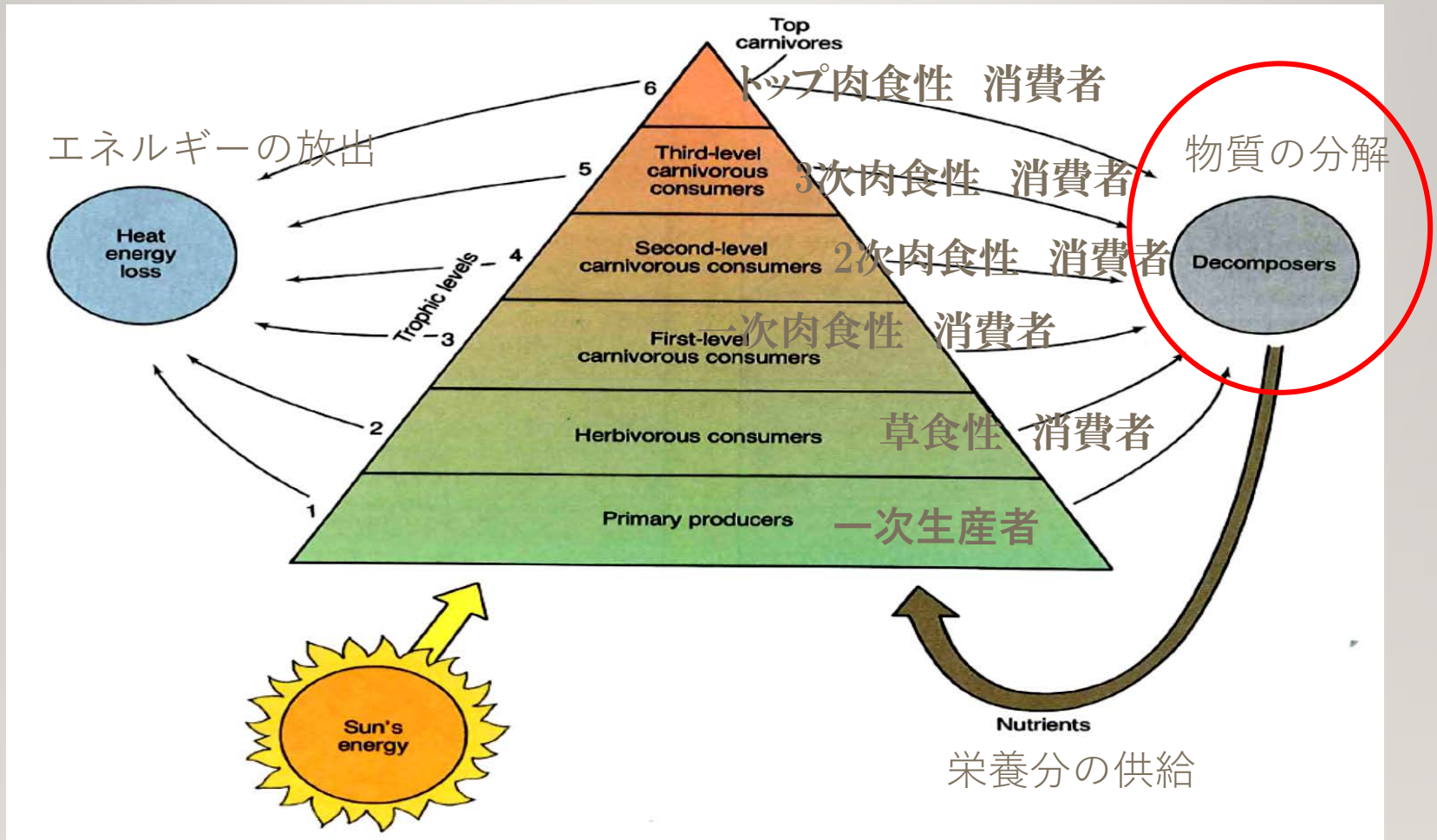
それに遅れて、動物プランクトンが反応します。



生産と消費：材料のリサイクル

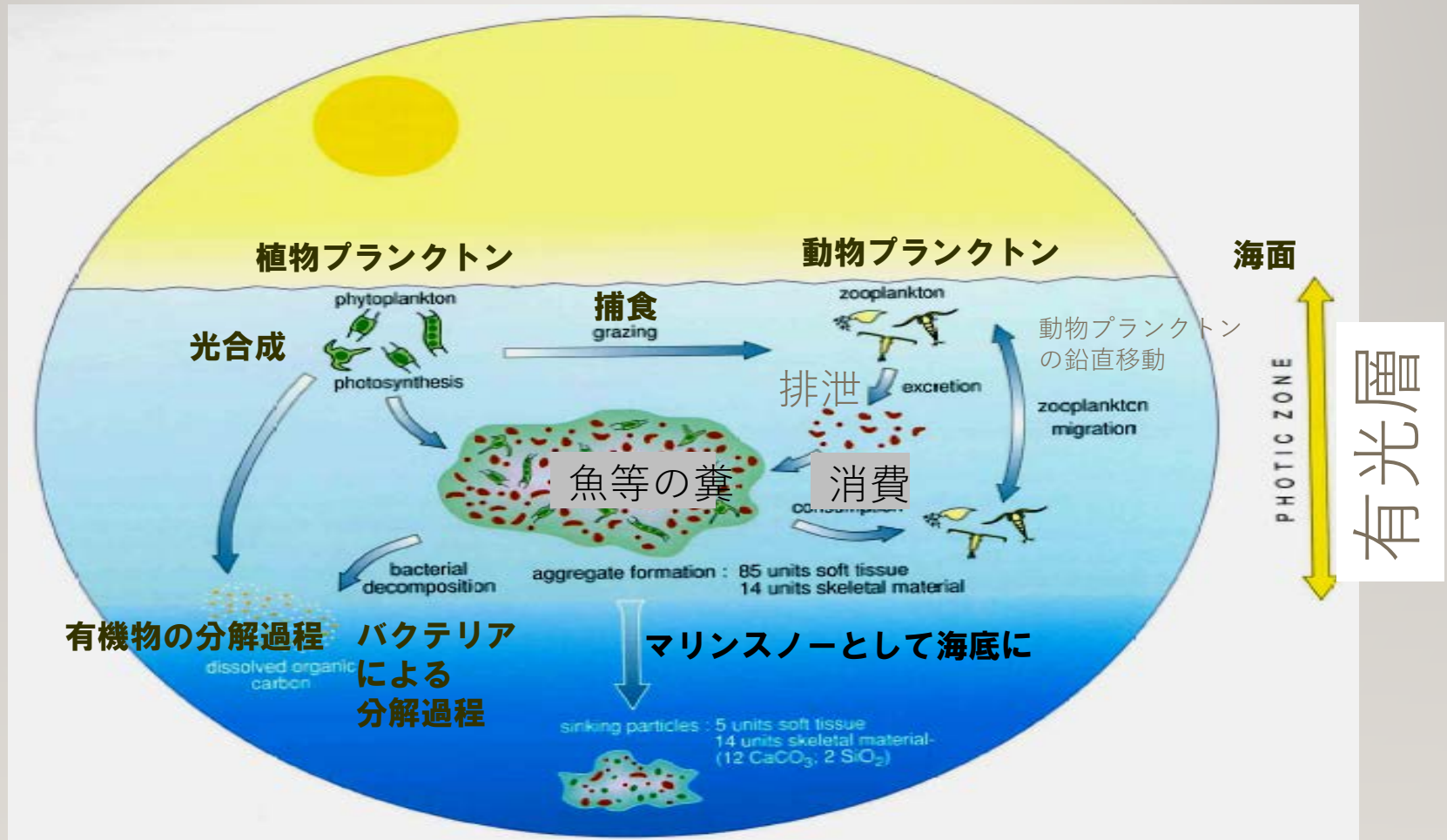


生物界の物質及びエネルギー循環 材料の再利用



それぞれの物質が菌類やバクテリアなどによって分解され、材料として再利用される。

プランクトンの海水表面における材料の循環



細粒の死骸や糞は分解されて再利用されるが、大きな塊はマリンスノーとして深海底に降り積もる



富栄養化した水域における“死の海”へのシナリオ

- 過剰の栄養塩類が追加される（陸起源の余剰肥料、生活排水）。
 - 一次生産が急激に起こる（増殖速度大）。
 - ~~一次消費者の大量発生（増殖速度大）。~~
 - 赤潮や青潮の状況が生まれる（毒性のあるプランクトンも大繁殖）。
 - 二次・三次消費者（増殖速度が遅い：ライフサイクルが長い）で処理。
しきれないため、一時生産者・消費者の余剰が生じる。
 - 死体や糞となって、過剰の有機物が海底に追加される。
 - 過剰の有機物は、バクテリアによって一気に分解が進む。
（この時、海底付近の海水中酸素が多量に消費される）。
 - 海底の溶存酸素が激減し、底生生物が窒息死し、さらにバクテリアの餌が供給される。
 - 低酸素状態の部分が広がり、生物活動が維持できず、死の海になる。



海底堆積物を用いた有明海100年環境変遷史の評価



天草

湯島

早崎瀬戸

海苔養殖

熊本港

白川

坪井川

横瀬久芳 (熊大・理)
yokose@sci.kumamoto-u.ac.jp

百島則幸 (熊大・理)
松岡數充 (長崎大・水産)
長谷義隆 (熊大・理)
本座栄一 (熊大・理)



有明海環境変化の原因を探る

有明海周辺の社会整備事業と環境変動

海産資源の異変：アサリやタイラギなど底棲生物の漁獲量が激減
海苔の色落ち

海の異変：赤潮の発生、透明度の増加、潮流の変化

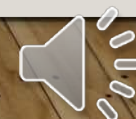
巨大社会整備事業：筑後大堰（昭和60年）、熊本新港

の開発（昭和55年から継続中）、諫早湾の干拓および潮受け堤防の締め切り（平成9年）

“社会整備事業”と“海の異変”の因果関係 → 複雑な問題

横瀬ら（2004）の研究目的

- 有明海の底質の変化はいつから始まったか？
- なぜそのような事が起こったのか？
- 有明海の水塊変遷はいつから始まったか？
- 社会整備事業との因果関係を再評価



ということで **RKK**に出演



2005年放映分より



“疲弊した有明海！”とマスコミが声高に叫んでいるさなか
有明海のとある潮干狩り場では、普通にアサリ掘りができたし、
タイラギ貝も売っていた。



単なる比較の問題なのだろうか 

蛇足（環境問題と研究者） 不機嫌なジーン（結構リアルな設定）

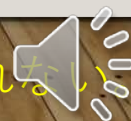


基本的にはラブストーリーではあるが、環境問題を取り巻く利害関係を概観するには面白い作品である。早速蔦屋で借りて全巻を制覇。利害関係の描写が結構リアリティーあふれるものであって、むしろ控えめなくらい。

国、研究者、住民それぞれの立場で、利害関係が複雑に絡みあうため、純粹に環境問題を解決しようと思ったら独立した立場で見極める必要がある。特に、環境問題を取り扱う会社は、クライアントが住民なのか国なのかによって報告書のまとめ方が変わってくる。偽学者（御用学者）はもっとたちが悪い。

**『不機嫌なジーン』は、フジテレビ系で2005年（平成17年）に放送された、竹内結子主演の連続テレビドラマ。全11回。
とある理学部の研究室が舞台。内容は・・・、でも背景は結構リアル。**

なかなか解決しない環境問題の事例は、このドラマのような茶番劇かもしれない

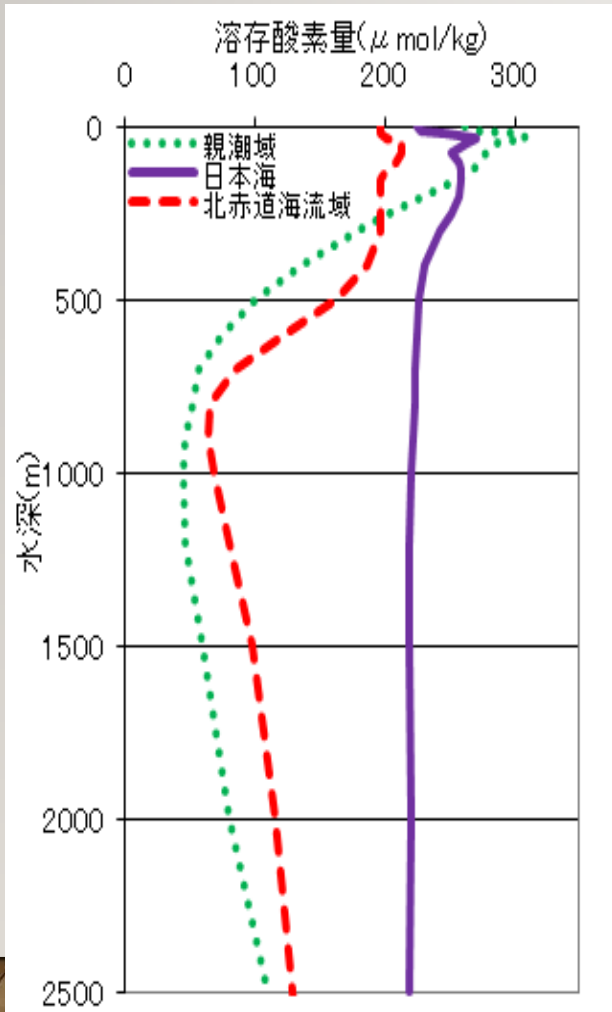


ここまで

酸素濃度

- 貧酸素水塊
- 溶存酸素： 魚類が生存可能な溶存酸素濃度の下限が3～5mg/L
- **飽和溶存酸素量**：飽和溶存酸素量は気圧、水温、溶存塩類濃度などによって変化する。蒸留水なら、14mg/L (0°C) ～7.5mg/L (30°C)
- **生物化学的酸素要求量** (せいぶつかがくてきさんそようきゅうりょう、Biochemical oxygen demand) は、生物化学的酸素消費量とも呼ばれる最も一般的な水質指標のひとつであり、主に略称の**BOD**が使われている。
- 水中の有機物などの量を、その酸化分解のために微生物が必要とする酸素の量で表したもので、特定の物質を示すものではない。単位は **mg/L** または **mg-O₂/L** だが、通常 **mg/L** と略される。一般に、**BOD**の値が大きいくほど、その水質は悪いと言える。

溶存酸素量



溶存酸素量

溶存酸素量(以後、酸素量)とは、海水中に溶け込んでいる酸素量のことを言います。一般的に酸素量は大気に接する表層で多く、また海水温によって溶け込む量が異なります。海水温が低い亜寒帯の親潮域などでは、良く溶け込みますが、海水温が高い亜熱帯の北赤道海流域などでは、あまり溶け込みません。

溶存酸素量の単位 $\mu\text{ mol/kg}$ は、海水1kg中に含まれる酸素の物質量を $\mu\text{ mol}$ (マイクロモル)で表したものです。 μ (マイクロ)は100万分の1($=10^{-6}$)を表します($\mu\text{ mol}$ (単位・化学記号))。1 $\mu\text{ mol/kg}$ を海水1kg中に含まれる酸素の質量(g(グラム))に換算すると、 $32\ \mu\text{ g/kg}$ と表すことができます。

貧酸素水塊：酸素欠乏

- ~~Hypoxia, or oxygen depletion, is a phenomenon that occurs in aquatic environments as dissolved oxygen (DO; molecular oxygen dissolved in the water) becomes reduced in concentration to a point where it becomes detrimental to aquatic organisms living in the system. Dissolved oxygen is typically expressed as a percentage of the oxygen that would dissolve in the water at the prevailing temperature and salinity (both of which affect the solubility of oxygen in water). Oxygen saturation and underwater). An aquatic environment with no dissolved oxygen (0% saturation) is termed anaerobic, redox potential is < -0.2 V, and < -0.2 V is a system with low concentration—in the range between 1 and 30% saturation—is called **hypoxic or dysoxic**. Most fish cannot live below 30% saturation. A "healthy" aquatic environment should seldom experience less than 80% oxygen saturation. The exaerobic zone is found at the boundary of anoxic and hypoxic zones.~~

増殖率：細菌類の例

「菌は~~空気中、水、土壌、人の体など、どこにでもいて栄養素、温度、水分などの条件がそろえば繁殖します。繁殖のスピードは菌の種類や環境によっても違いますが、最適な条件下の場合でいちばん早いのは、腸炎ビブリオで、1個から2個になるのに約8分。大腸菌は約**20**分、パン酵母菌だと約**40**分くらいです~~」

腸炎ビブリオの場合、単純計算すると2時間で最大3万2768倍に増殖する。この菌は**10**の5乗（**10**万）個以上で食中毒を起こすといわれているので、仮に4個入ってしまっただけで2時間後にはアウト！

富山湾の排砂問題： 汚泥の海洋投棄



FNS ドキュメンタリー大賞受賞番組：DVDを探しています

生物の存続を支えてくれる一次生産

- 私たちは、プランクトンに支えられています

生態系を支える一次生産者

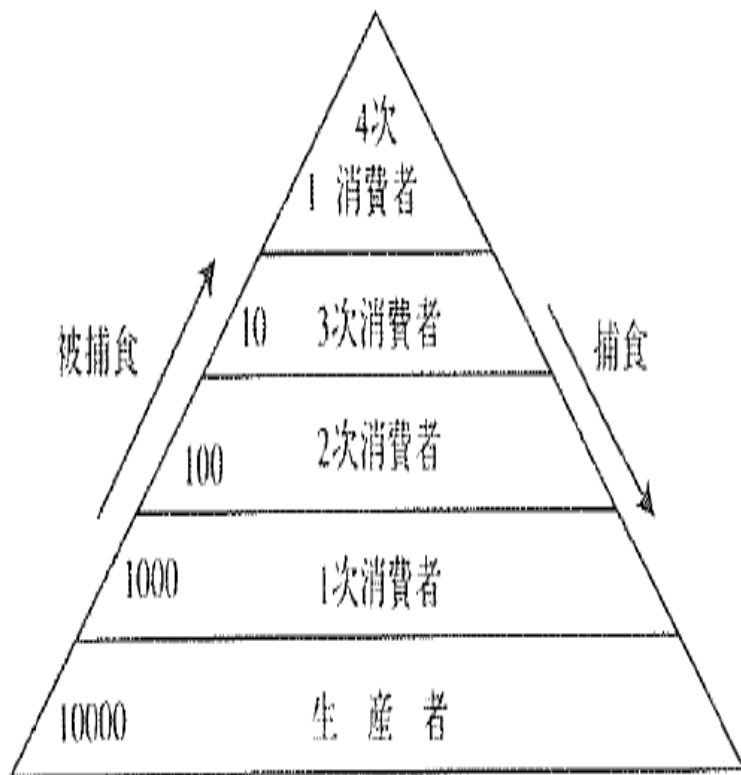


図8-5 海洋の生物生産ピラミッド

表8-1 海洋生物の機能による分類

生産者	緑色植物	植物プランクトン
		海藻, 海草
	微生物	
	細菌	
消費者	1次消費者	動物プランクトン
	2次消費者	小魚 (イワシなど)
	3次消費者	中型魚 (イカなど)
	4次消費者	大型魚 (サメなど)
分解者	細菌	バクテリア
	真菌	カビ, 酵母

摂食：口のところに来た食物を食べる食べ方
捕食：食物の所まで行って食べる食べ方

海藻：仮根で岩面に固着して、海水から栄養を取る
 昆布、ホンダワラ
海草：アマモのように根を有し、種子で繁殖する

植物プランクトン (PHYTOPLANKTON)

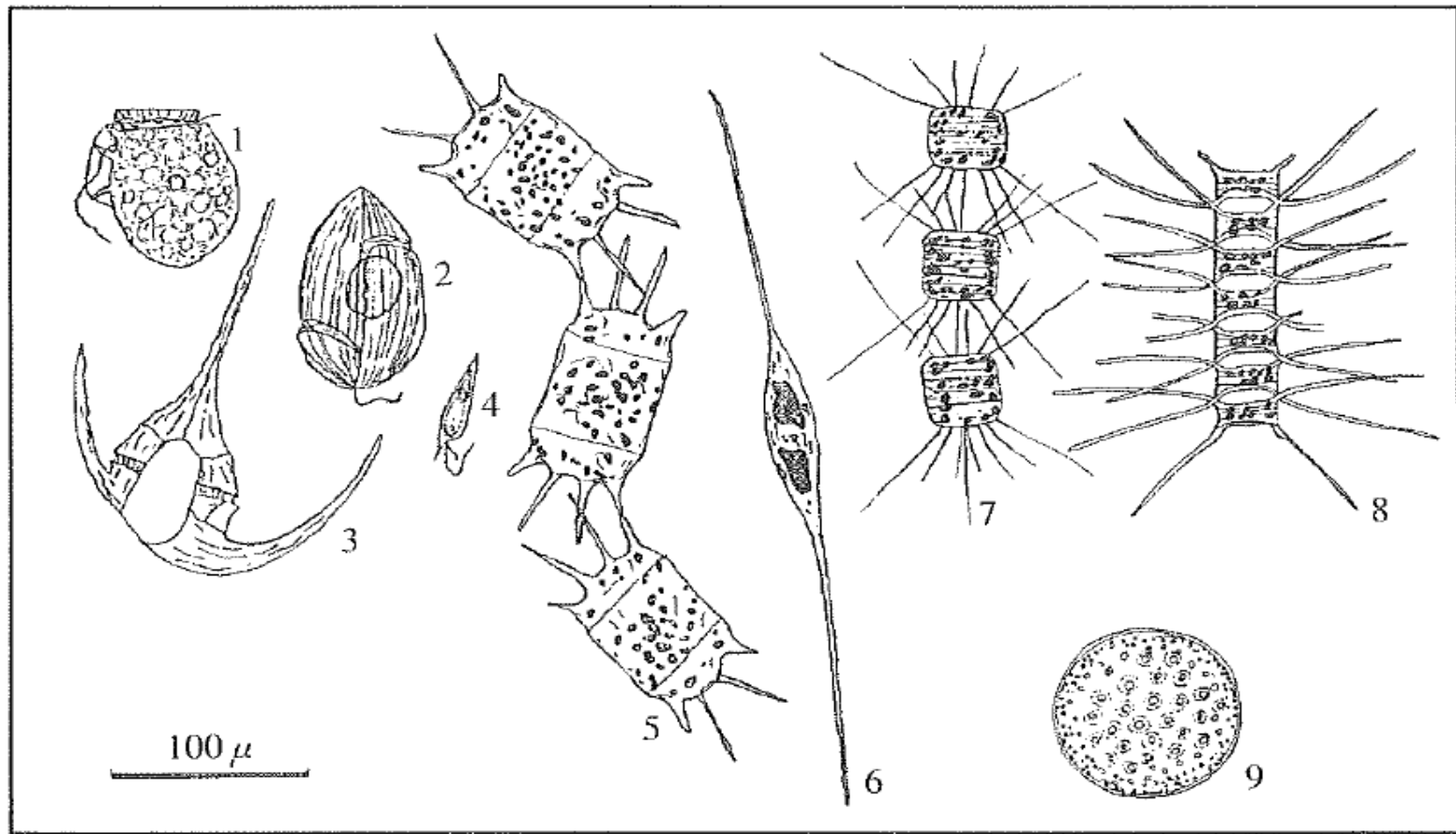


図8-3 小型植物プランクトンの例 (Wailes, 1939; Cupp, 1943)

渦鞭毛藻類：*Dinophysis* (1), *Gyrodinium* (2), *Ceratium* (3), *Prorocentrum* (4), 珪藻類：*Biddulphia* (5), *Nitzshia* (6), *Thalassiosira* (7), *Chaetoceros* (8), *Ciscinodiscus* (9)

太陽エネルギーを使って、光合成する生物：珪藻類、藍藻類、鞭毛藻類
棘が生えていたり、複雑な形をしているのは、沈みにくくするため。

動物プランクトン (ZOOPLANKTON)

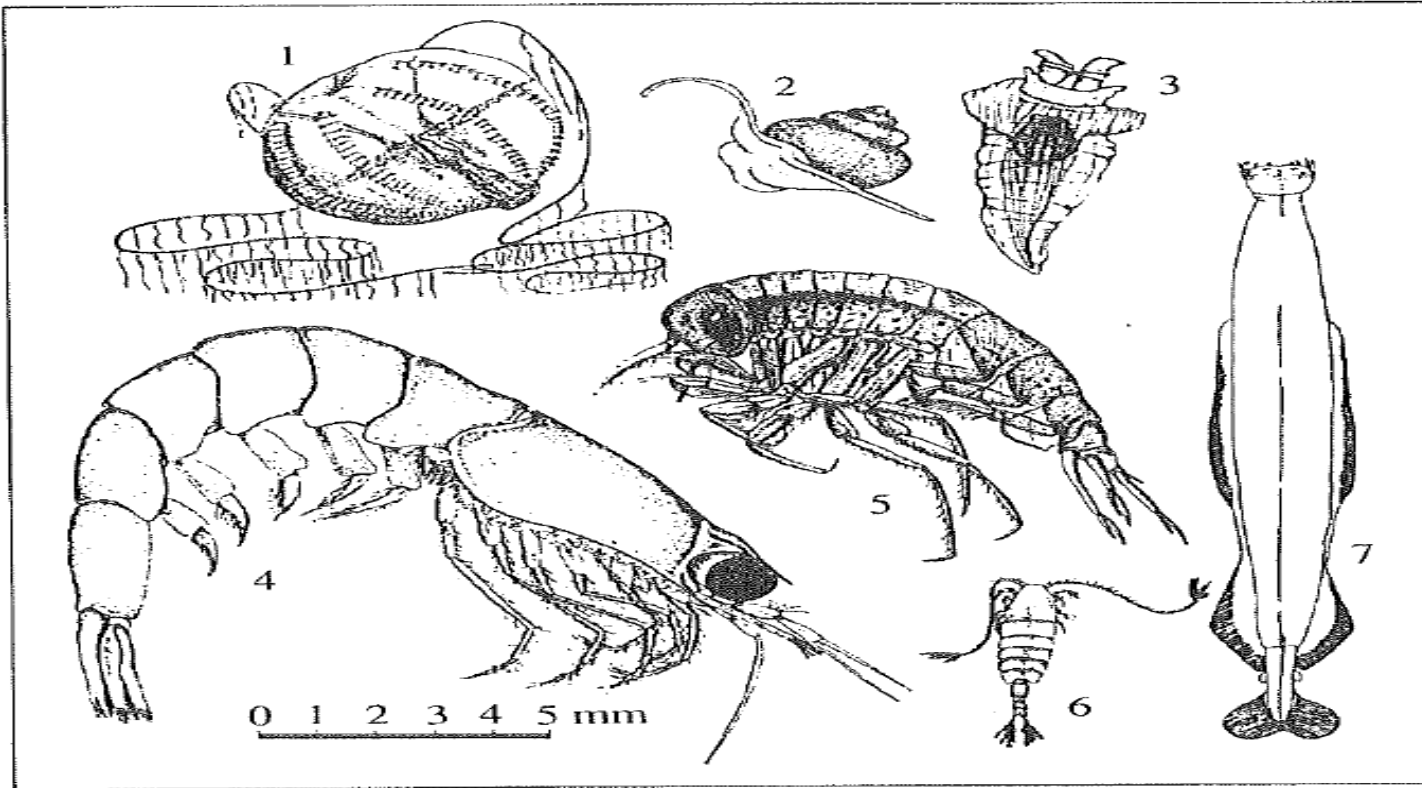
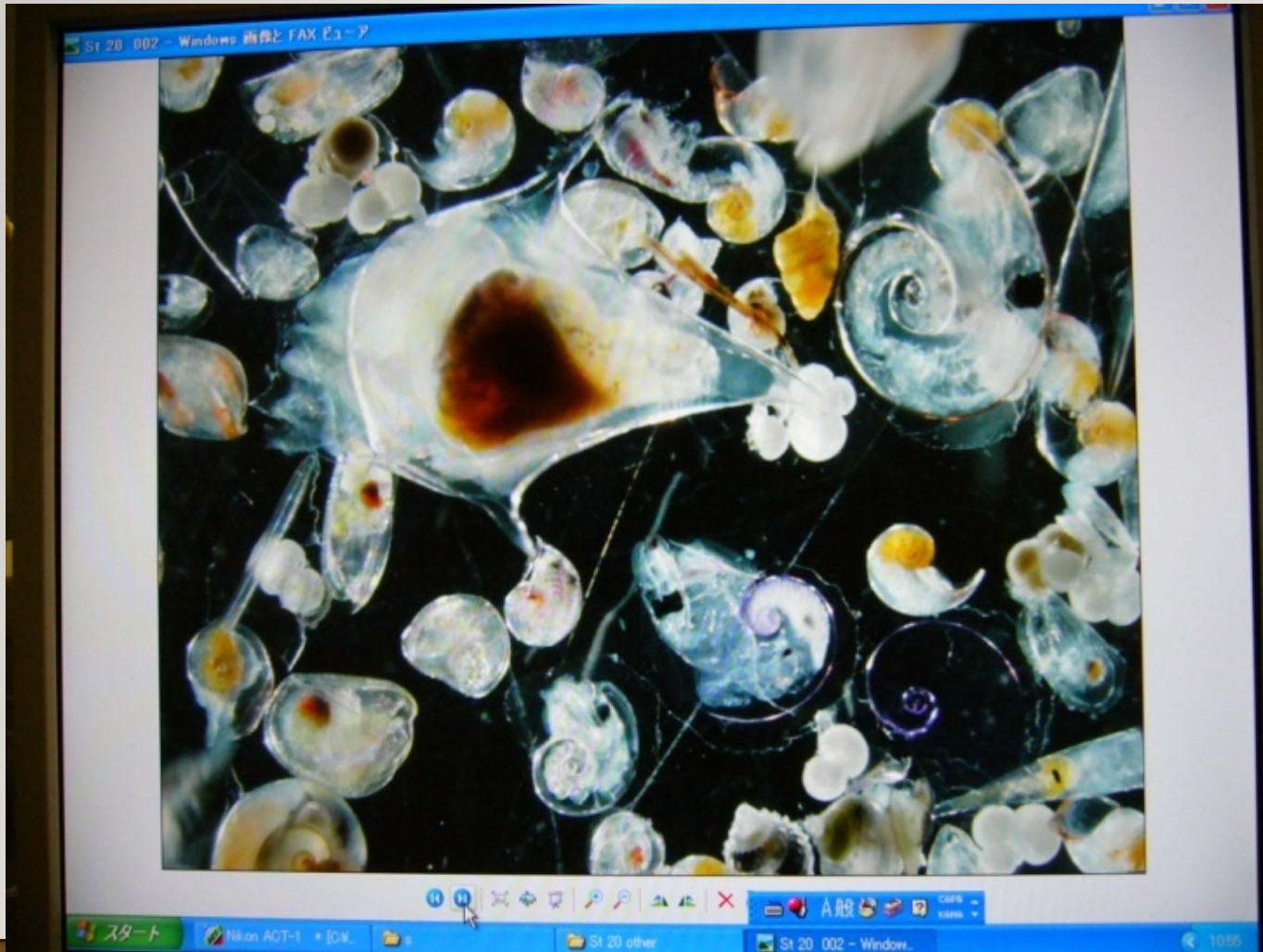


図 8-4 大型動物プランクトンの例 (LeBrasseur and Fulton, 1967)
クシクラゲ: *Pleurobrachia* (1), 軟体動物腹足類: *Limacina* (2), *Clione* (3), オキアミ: *Thysanoessa* (4), 端脚類: *Parathemisto* (5), コペポーダ: *Calanus* (6), ヤムシ: *Sagitta* (7)

- 端脚類: タルマワシ、ヨコエビ、ワレカラ
- 毛顎類: ヤムシ
- 翼足類: クリオネ
- かいあし類: コペポーダ、ケンミジンコ

例えば



プランクトン

プランクトン

プランクトン

海洋生物の生活様式による分類

表 8-2 海洋生物の生活様式による分類

浮遊生物 (プランクトン)	{ 植物プランクトン 動物プランクトン 微生物 (細菌, 真菌)
遊泳生物 (ネクトン)	: 魚類
底棲生物 (ベントス)	{ イソギンチャク エビ ゴカイ

- ~~ギリシャ語の放浪し漂う~~生物という意味
- 海中を自由に遊泳できる生物群
- 底棲生物：海底の表面、泥の中、あるいは岩盤に付着して生活している。

一次生産に関与できる水深



- **補償深度**(compensation depth) :

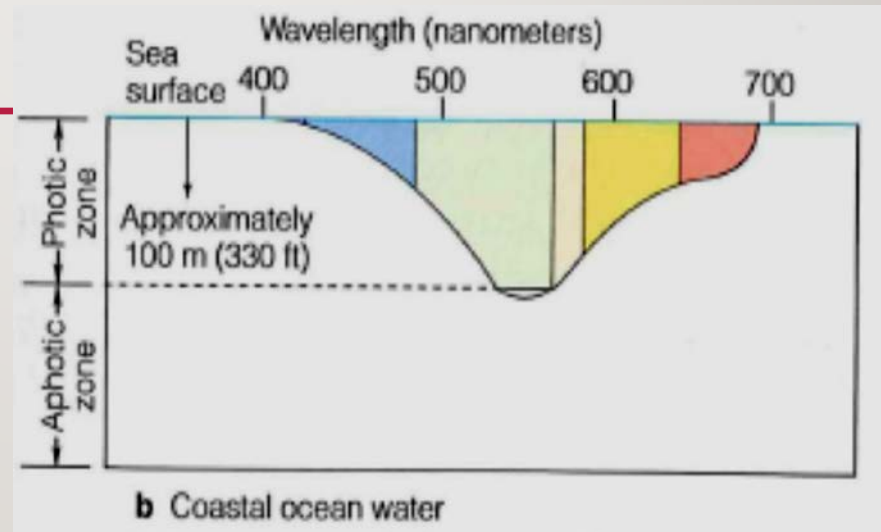
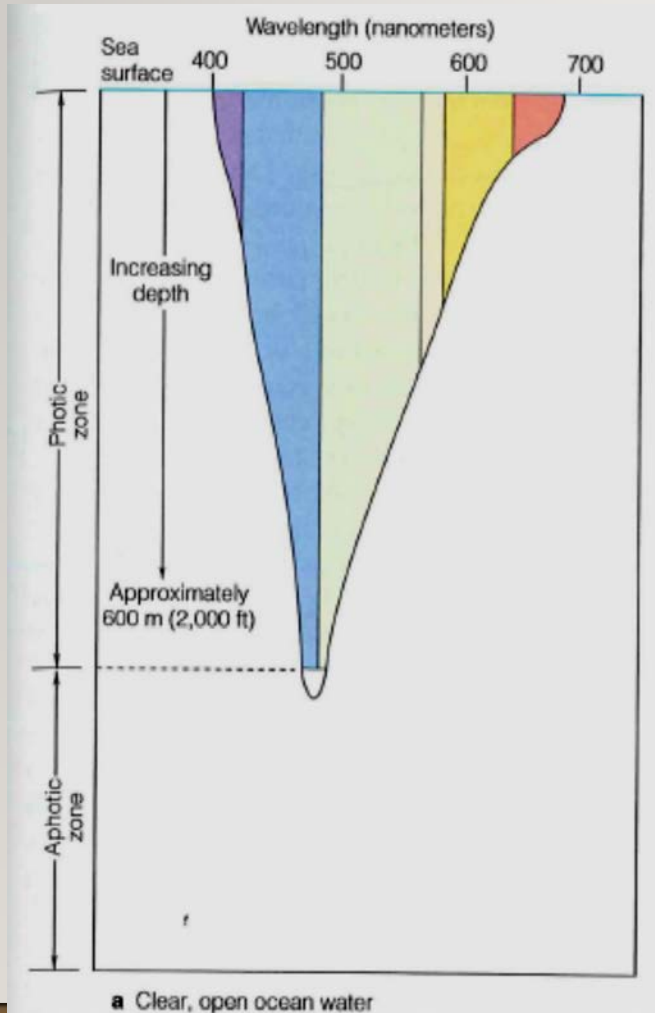
補償深度は、植物の光合成による酸素生産量と呼吸による消費量がつりあう場所。経験的には、表面の太陽エネルギー(100%)が1%までに減衰する深度と考えられている。

- **有光層**(euphotic layer): 補償深度よりも浅い部分

- **無光層**(aphotic layer): 補償深度よりも深い部分

日本では用語の混乱があるので、注意が必要

外洋と内湾における透過性の違い



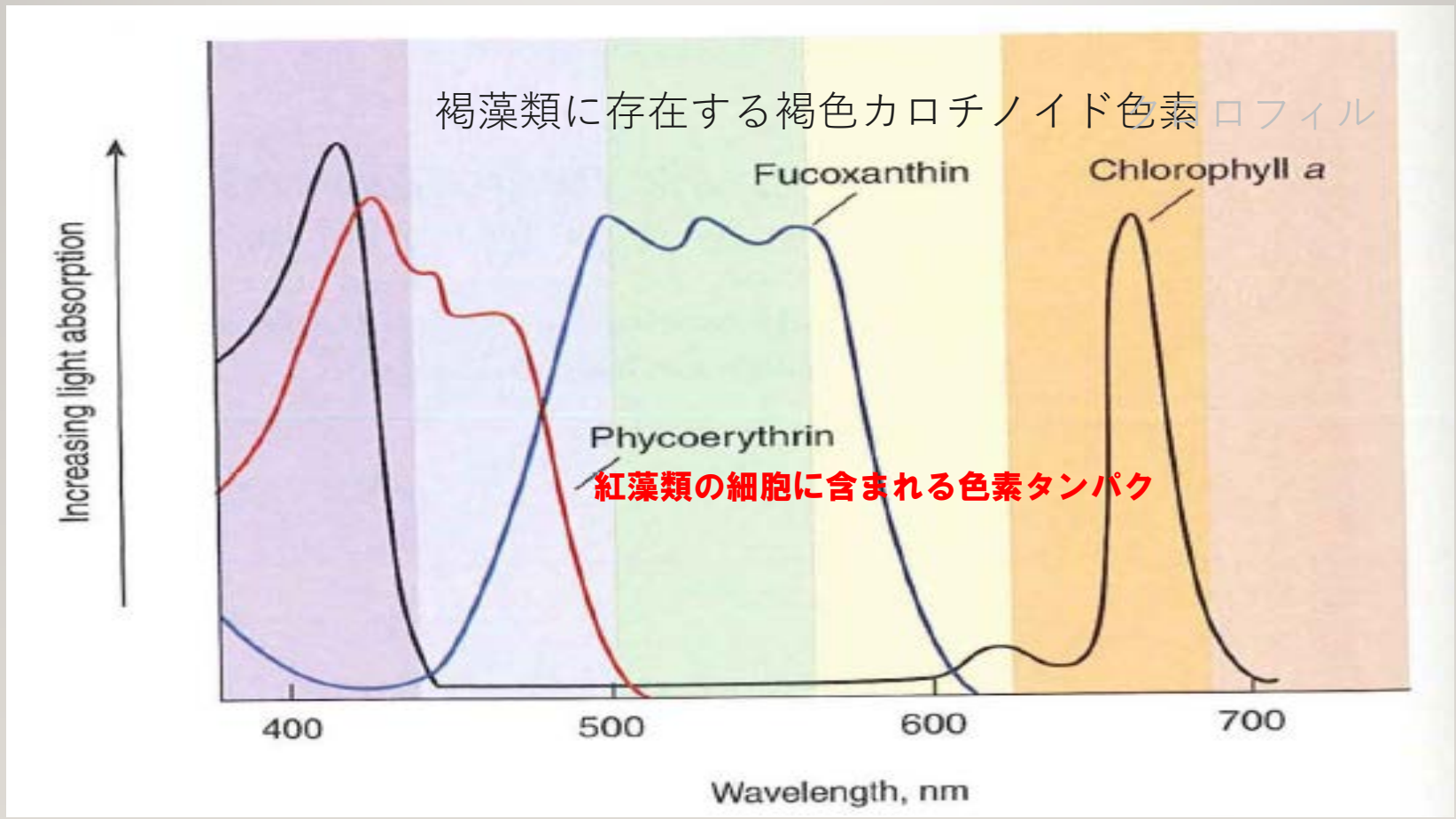
有光層の厚さは、懸濁物 (seston) によって左右される。

一般に、懸濁物の量は、透明度 (transparency) によって示され、有光層の深さはおよそ透明度の2~3倍とされている。

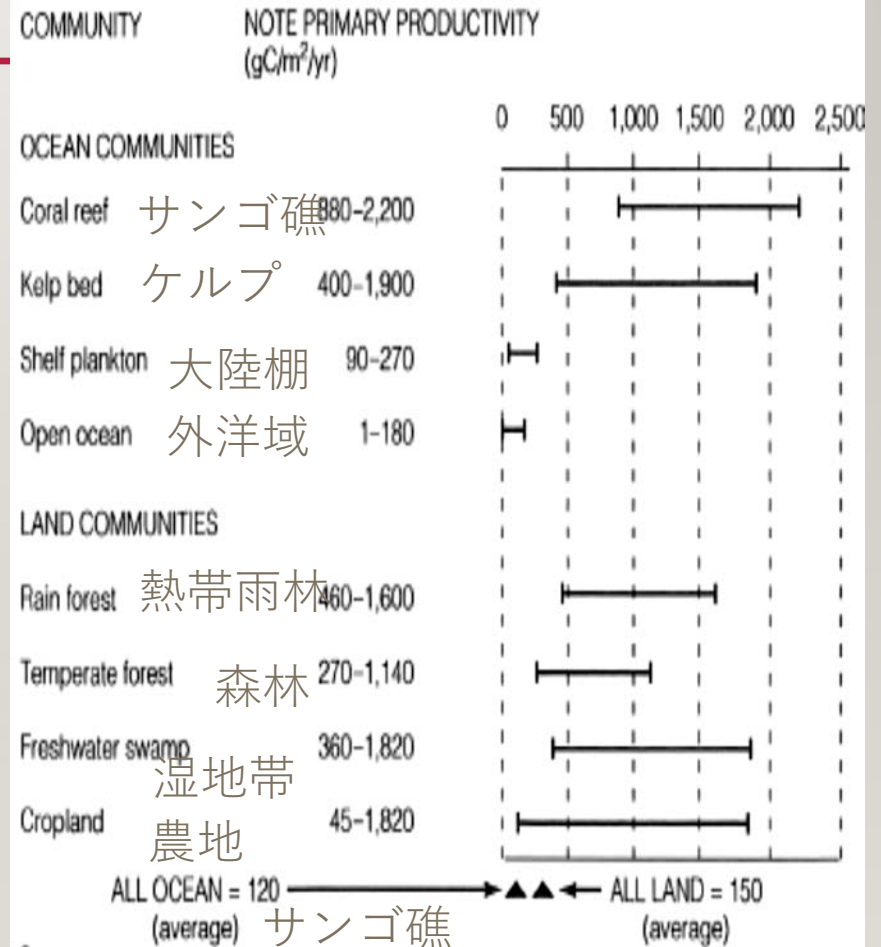
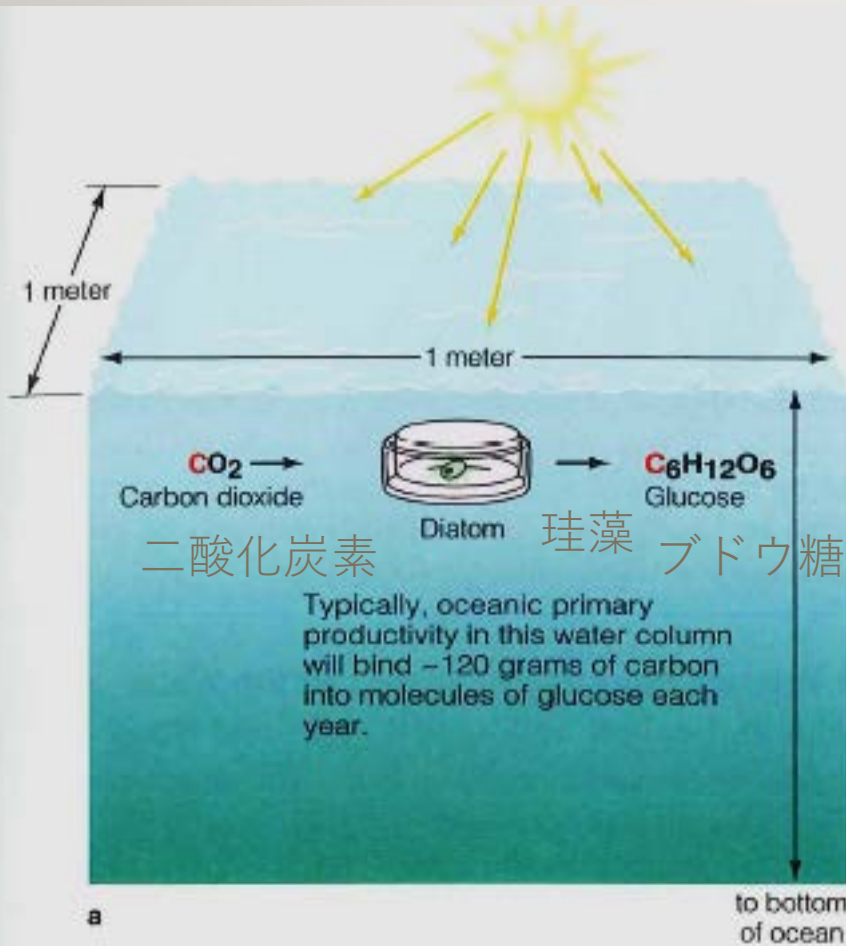
Photic zone: 光の届く範囲

Aphotic zone: 光が届かない領域

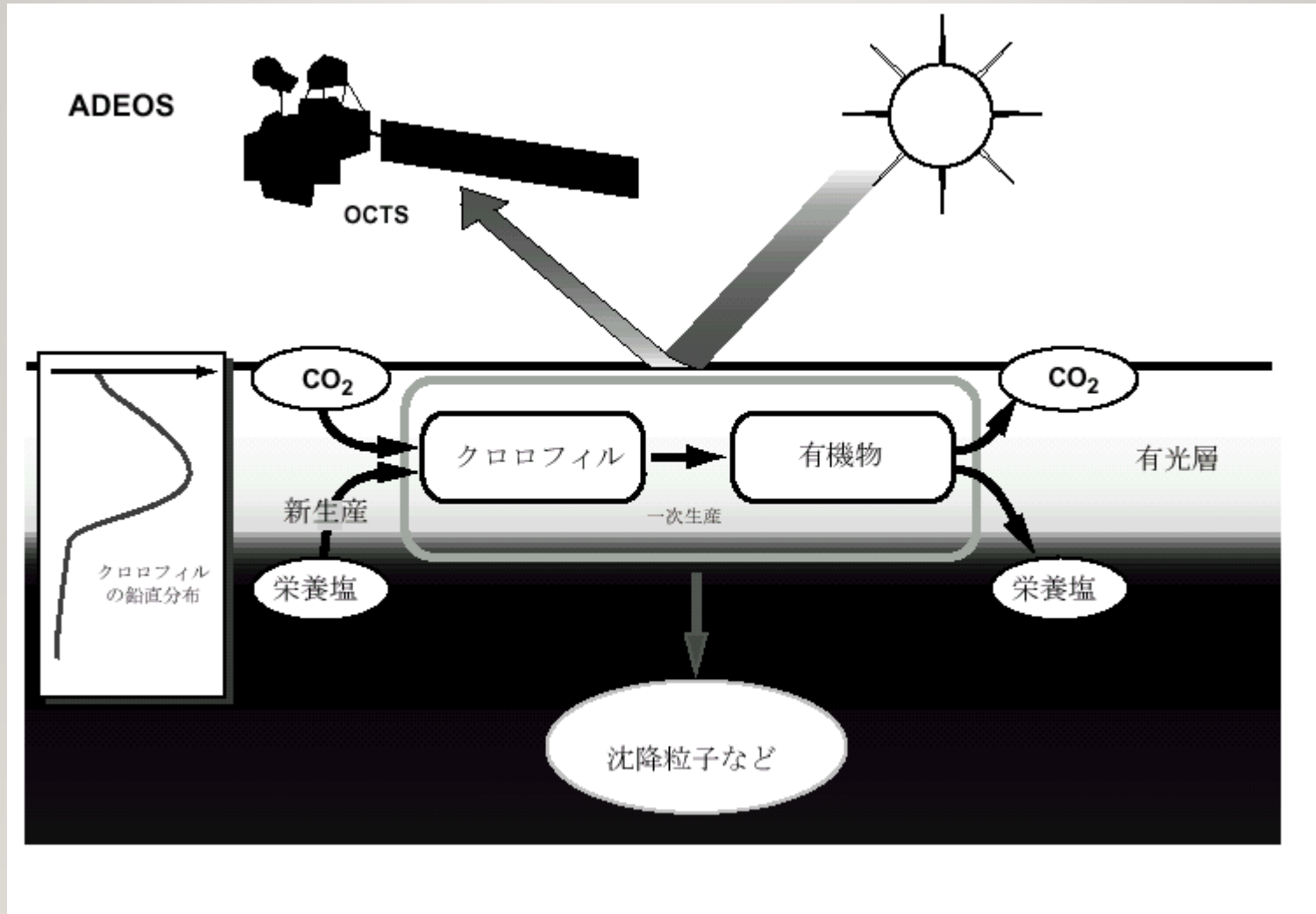
太陽光の波長とエネルギー交換



光合成によるエネルギーの交換量

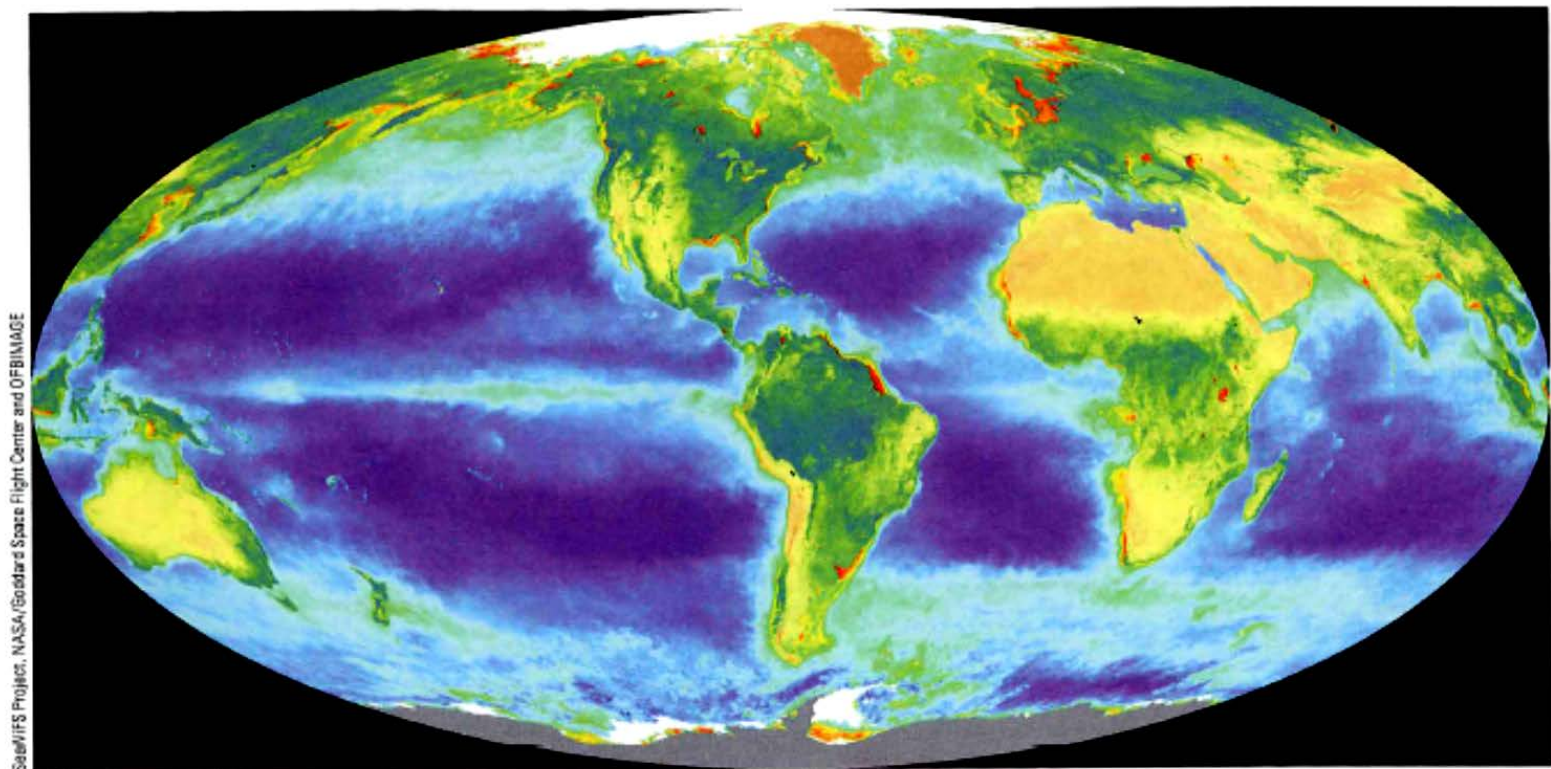


炭素循環と地球環境



人工衛星を使った一次生産量の検討

衛星による一次生産量の検討



SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center and OFBIMAGE

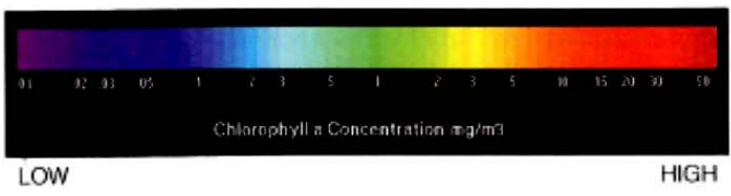


Figure 13.6 Oceanic productivity can be observed from space. NASA's *SeaWiFS* satellite, launched in 1997, can detect the amount of chlorophyll in ocean surface water. Chlorophyll content provides an estimate of productivity. Red, yellow, and green areas indicate high primary productivity; blue areas indicate low. This image was derived from measurements made between September 1997 and August 1998.

可視近赤外領域を使って、クロロフィル、浮遊物、溶存物の検討をする。

それぞれの生息域

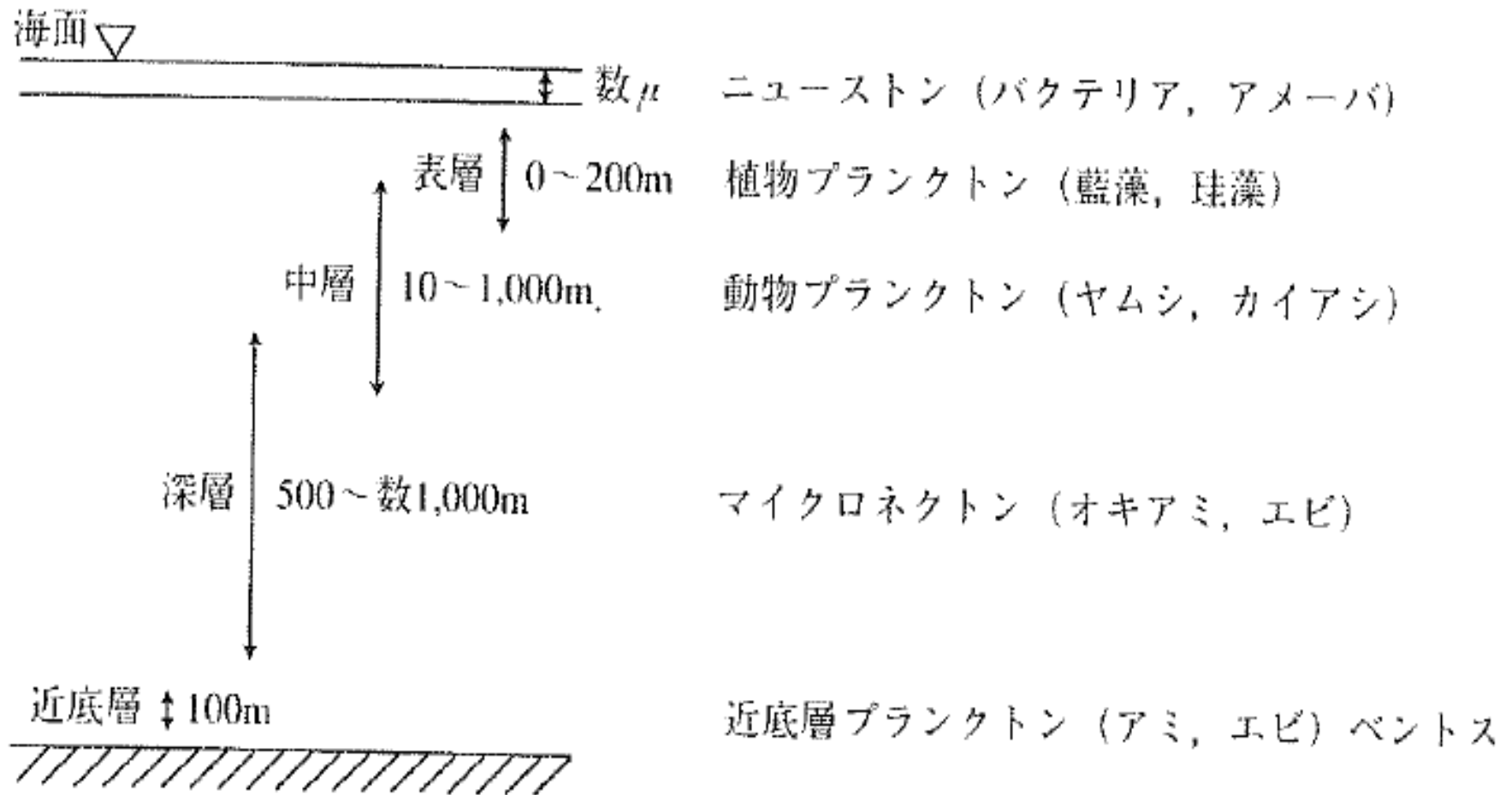
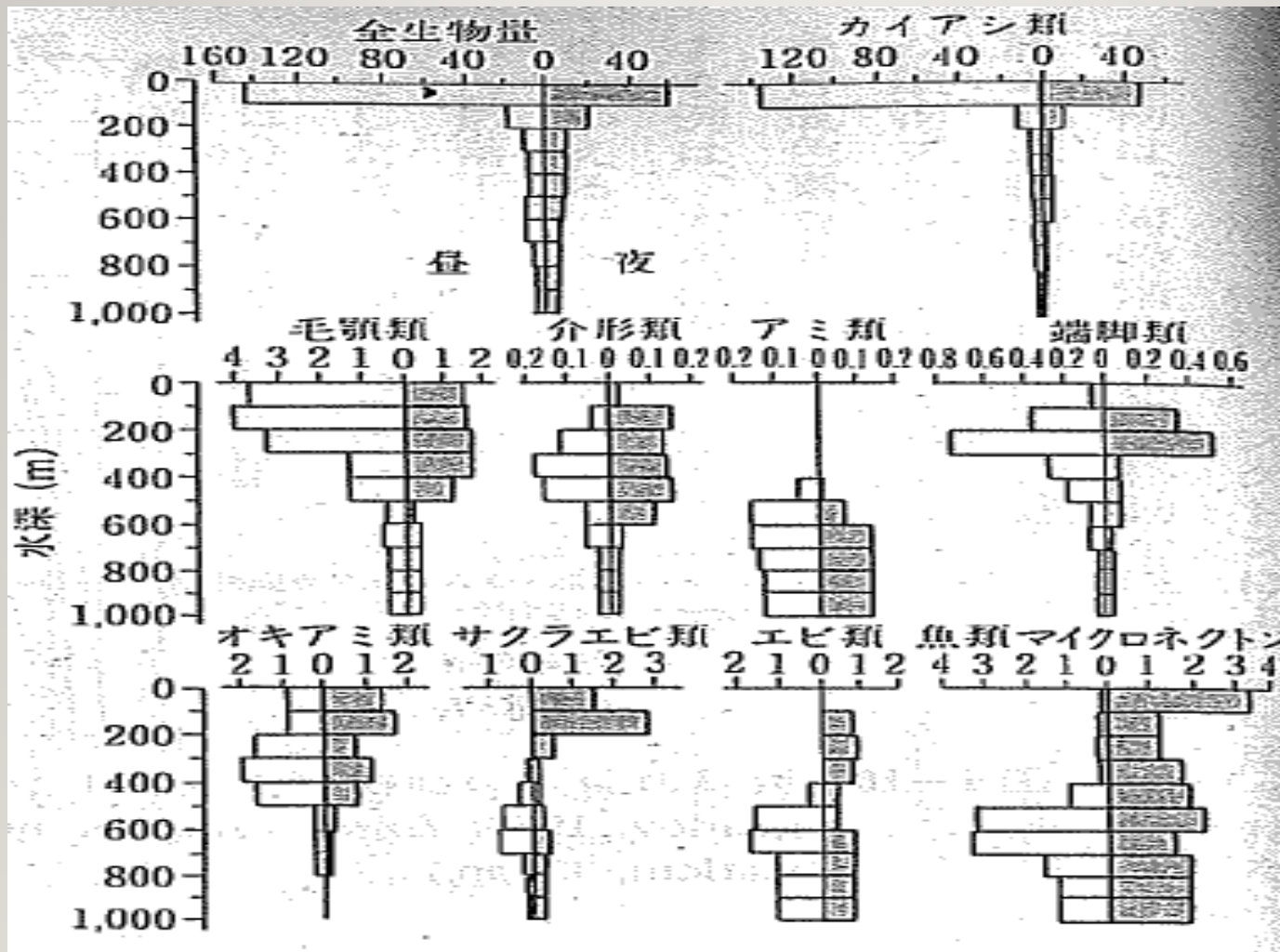


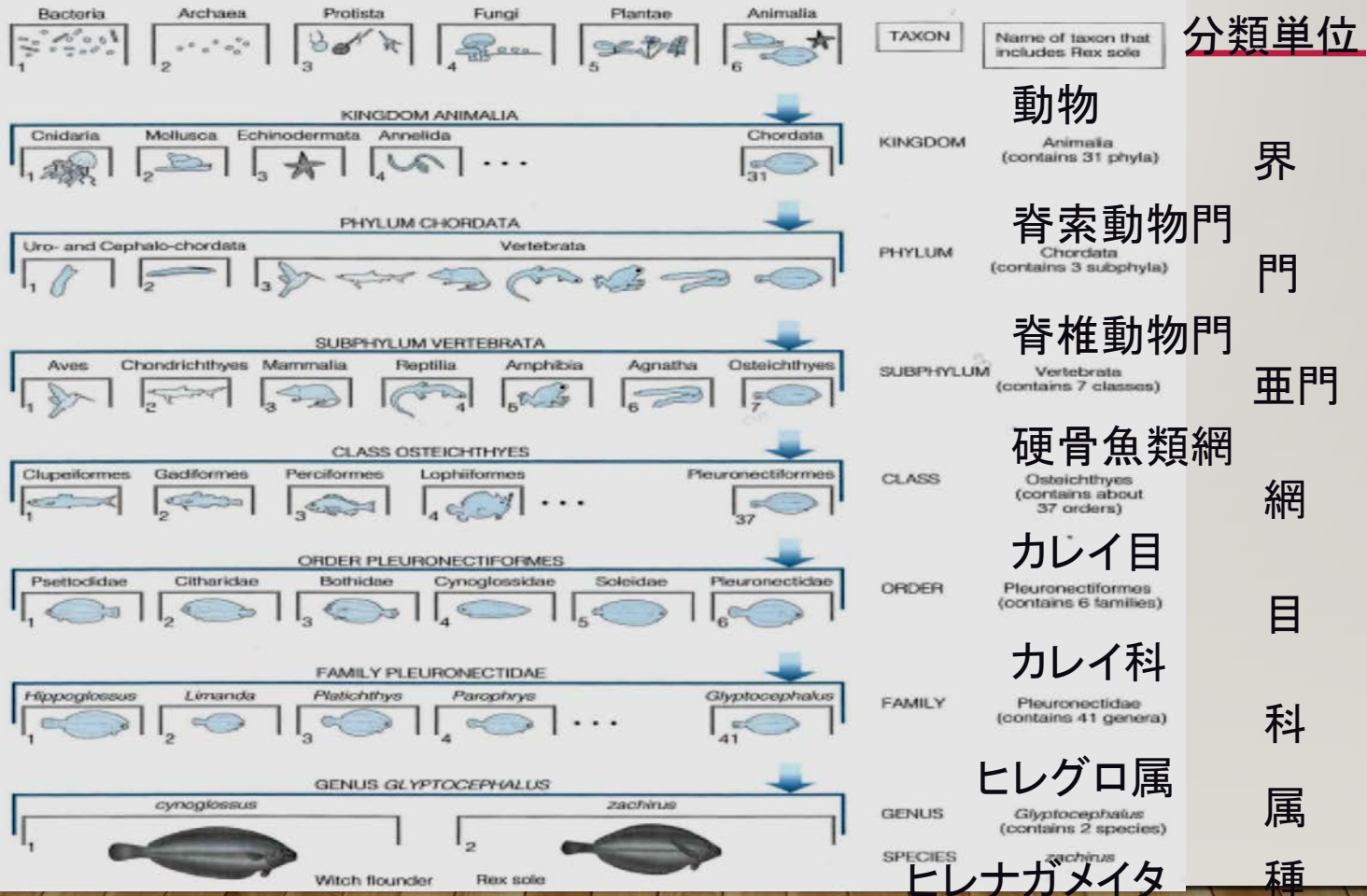
図 8-8 海洋生物の鉛直的な分布

日周鉛直移動

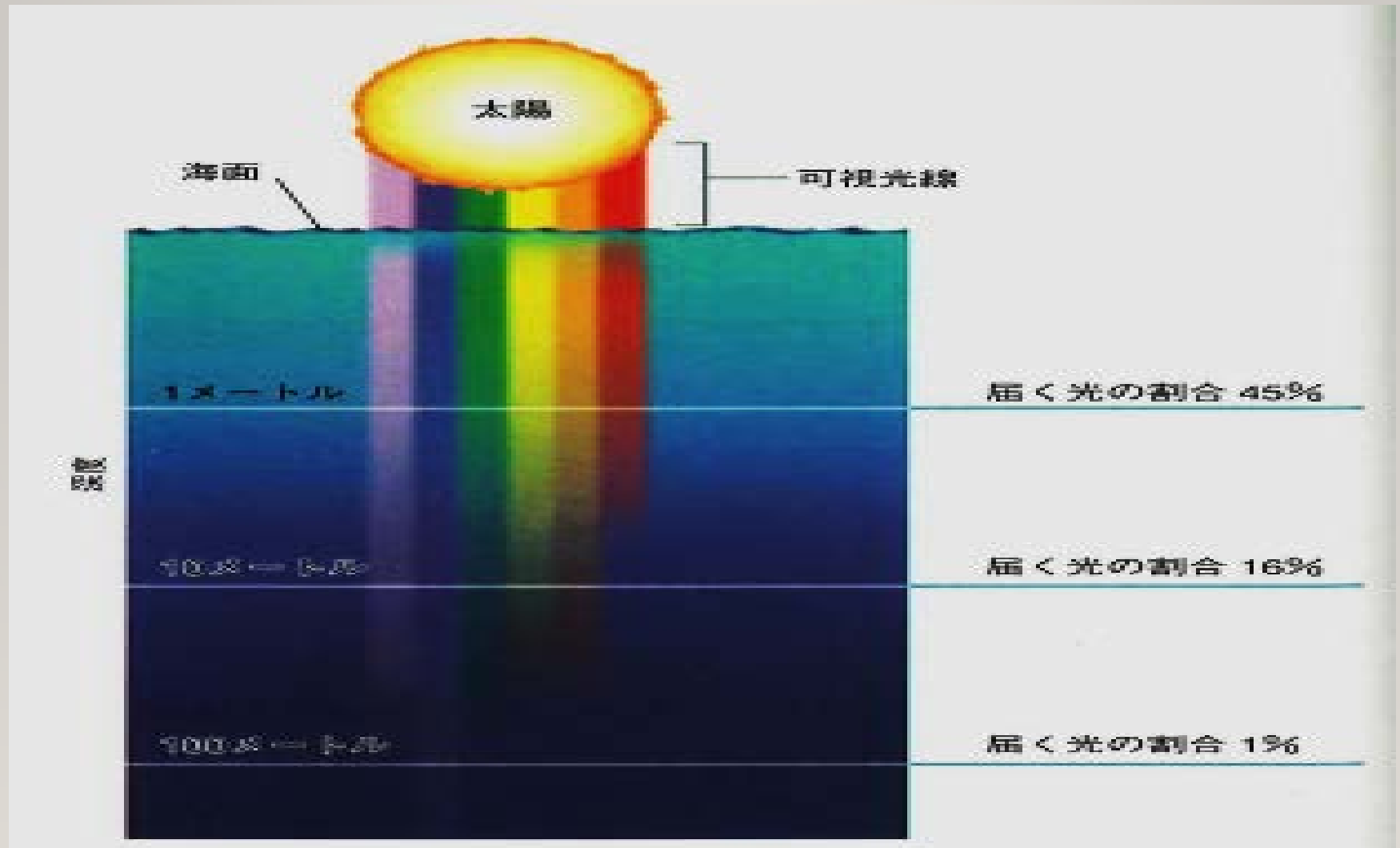


関東近海黒潮水域での動物プランクトンとマイクロネクトンの鉛直分布 (M. Murano et al., 1976: *Bull. Plankton Soc. Japan*, 23, 1-12.)
陰の部分が夜.

多様な環境に適応して多様な生物が進化した：生物の分類



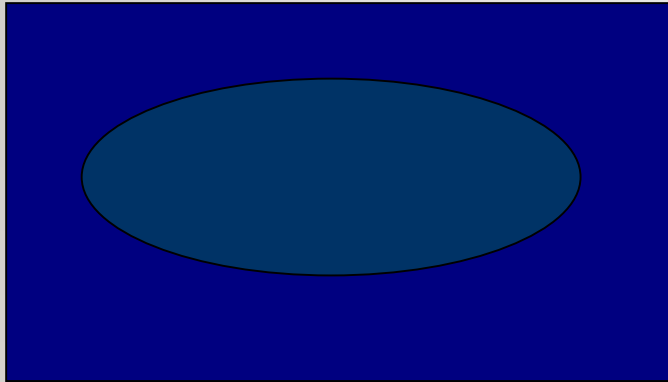
海水と光の関係



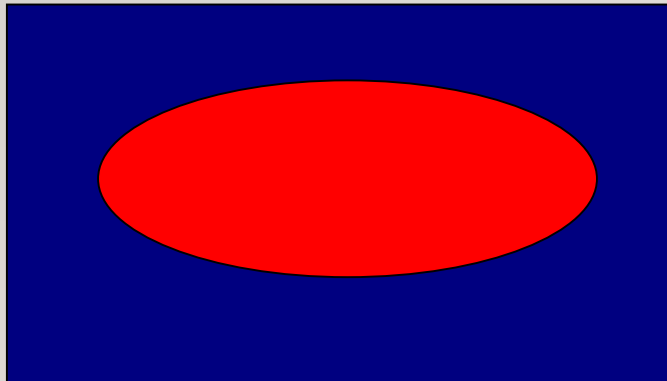
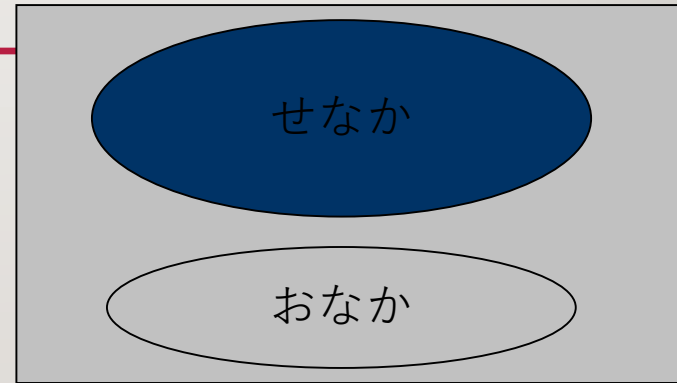
水は、電磁波を容易に吸収してしまう。吸収の度合いは波長によって異なる。つまり、光エネルギーは表層で吸収される。

食べられないための戦略：散乱光と魚の身の隠し方

上から見た場合



下から見上げた場合

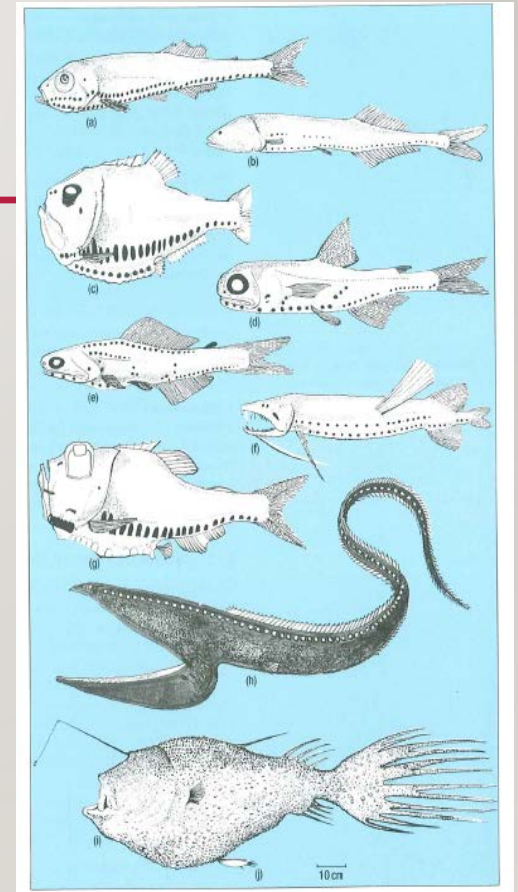


海底の赤い魚



海底の赤い魚（実際は保護色になる）

発光器を持つ魚： カウンターカモフラージュ



比較的深い宙層を主に遊泳する魚達は、日中のかすかな光に自分の影を出さないように発光器を使ってカモフラージュしている。

海洋中の生物を介した物質循環

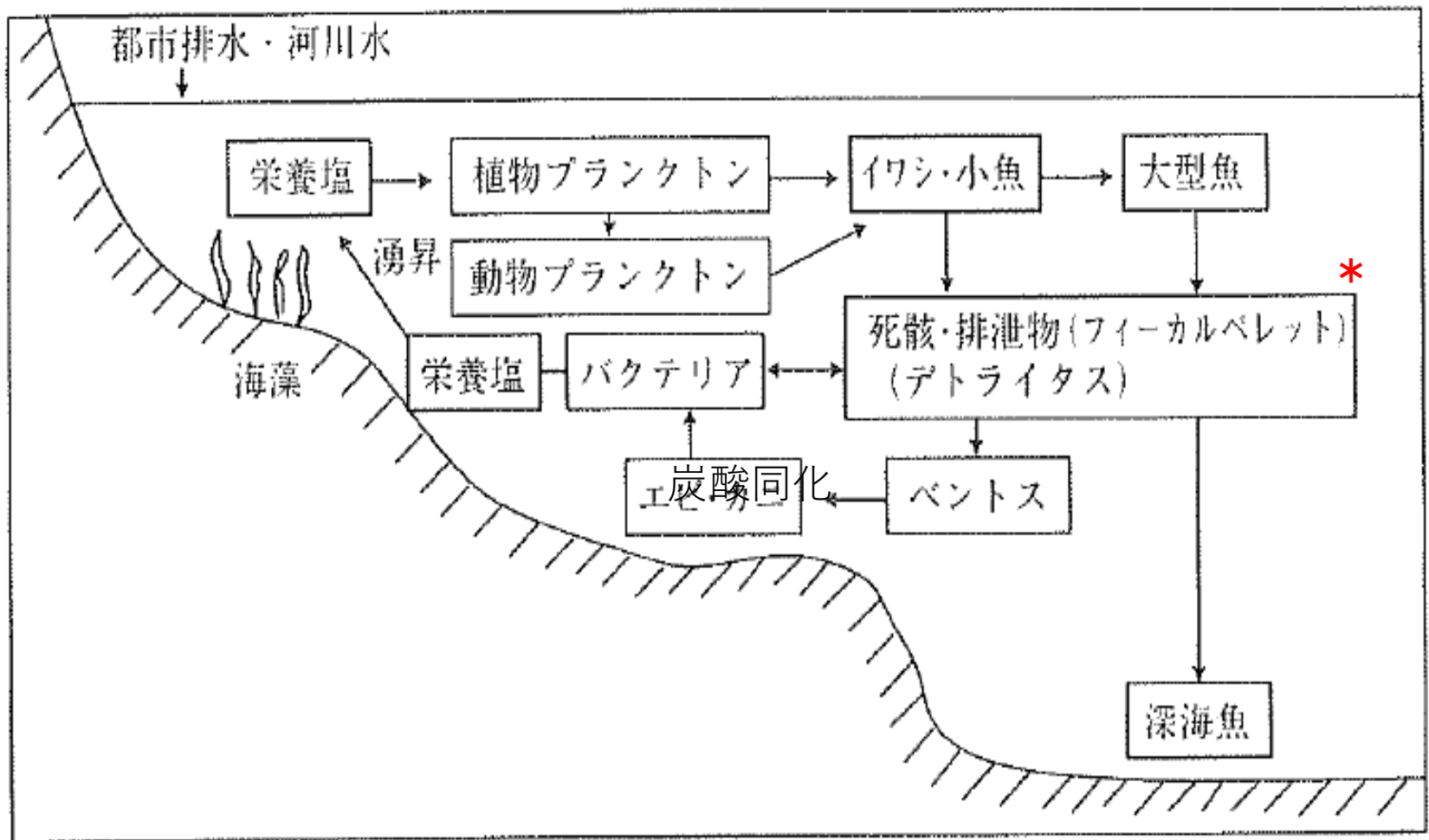


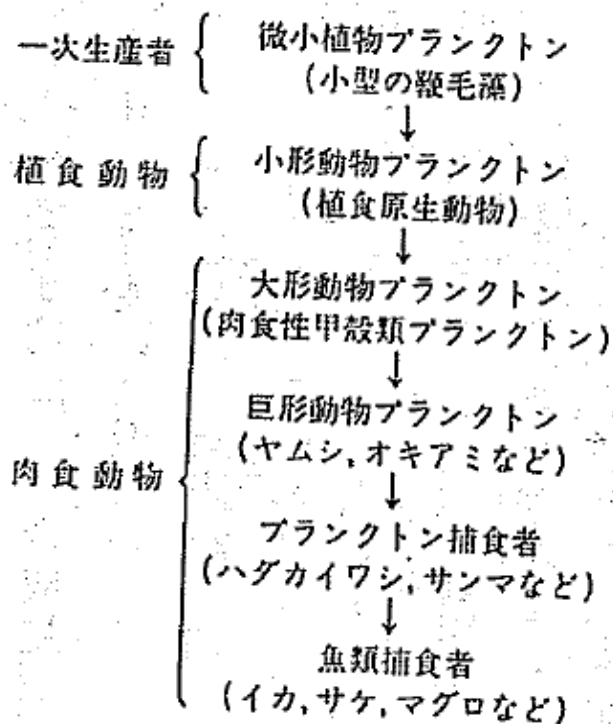
図9-2 海洋中の物質循環模式図

マリンスノー：生物の死骸や生物の排泄物がパッケージされたもの。
1 μ m—数10 μ mの粒子なら → 海底に沈降するのに100年～1000年かかる。

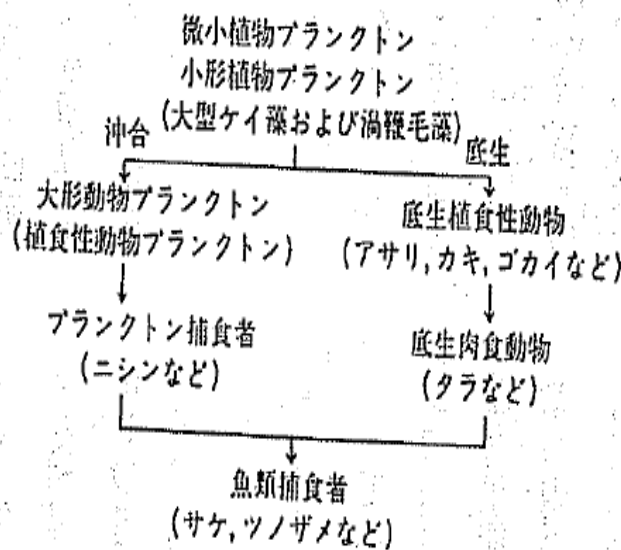
表 4-6 海洋における一次生産と魚類生産の推定量

	面積 ($\times 10^6 \text{km}^2$)	平均一次生産 ($\text{gC}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$)	栄養段 階の数	エネルギーの 転移効率 (%)	魚類生産 ($\text{mgC}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$)
外洋	332	50 (1)	5	10	0.5 (1)
沿岸	26.6	100 (2)	3	15	340 (680)
湧昇	0.4	300 (6)	1.5	20	36,000 (72,000)

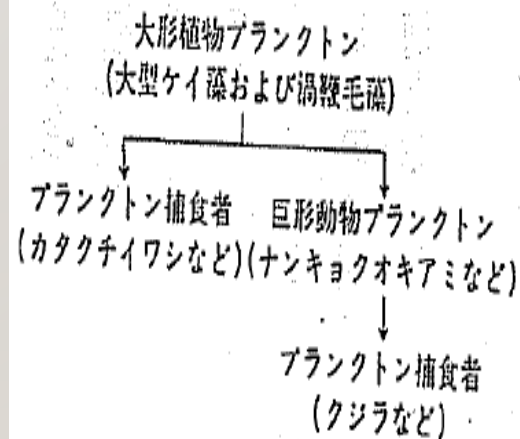
外洋



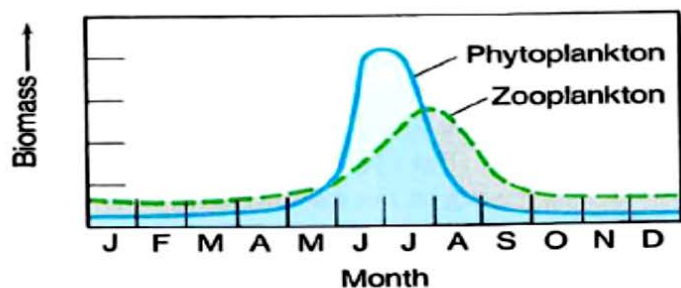
沿岸



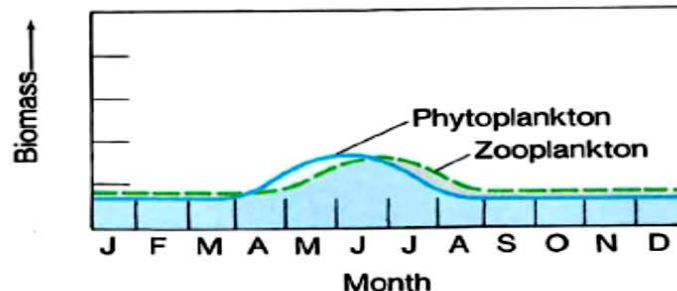
湧昇



生物の繁殖をコントロールするもの



(a) Arctic seas

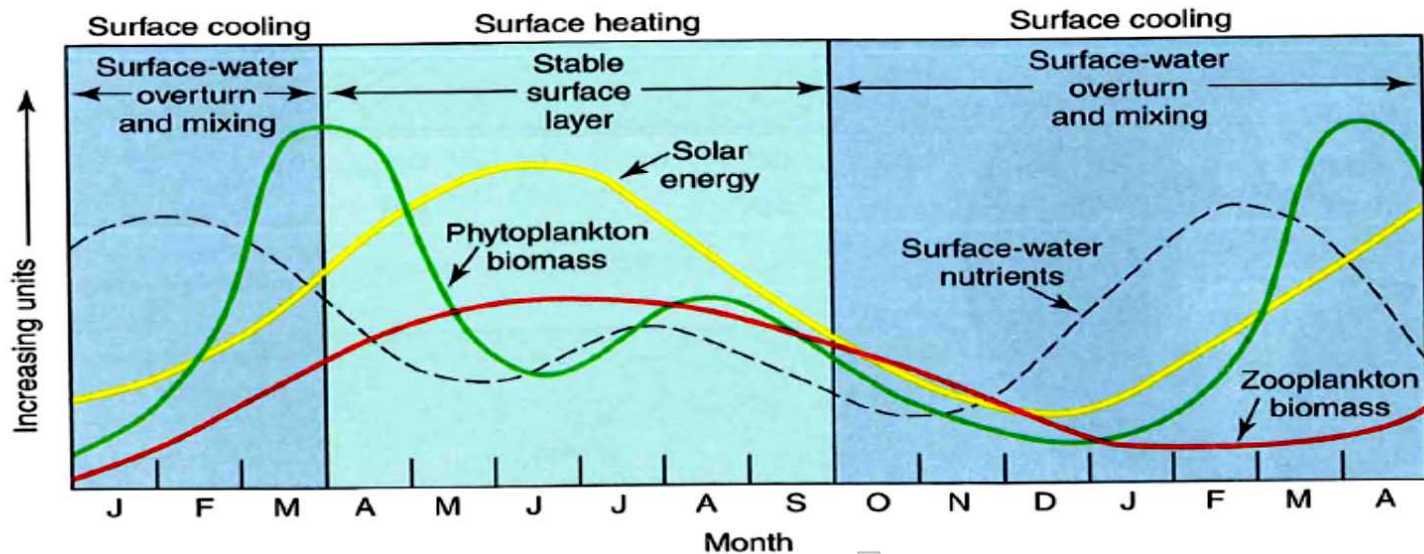


(b) Subtropic seas

極圏の海

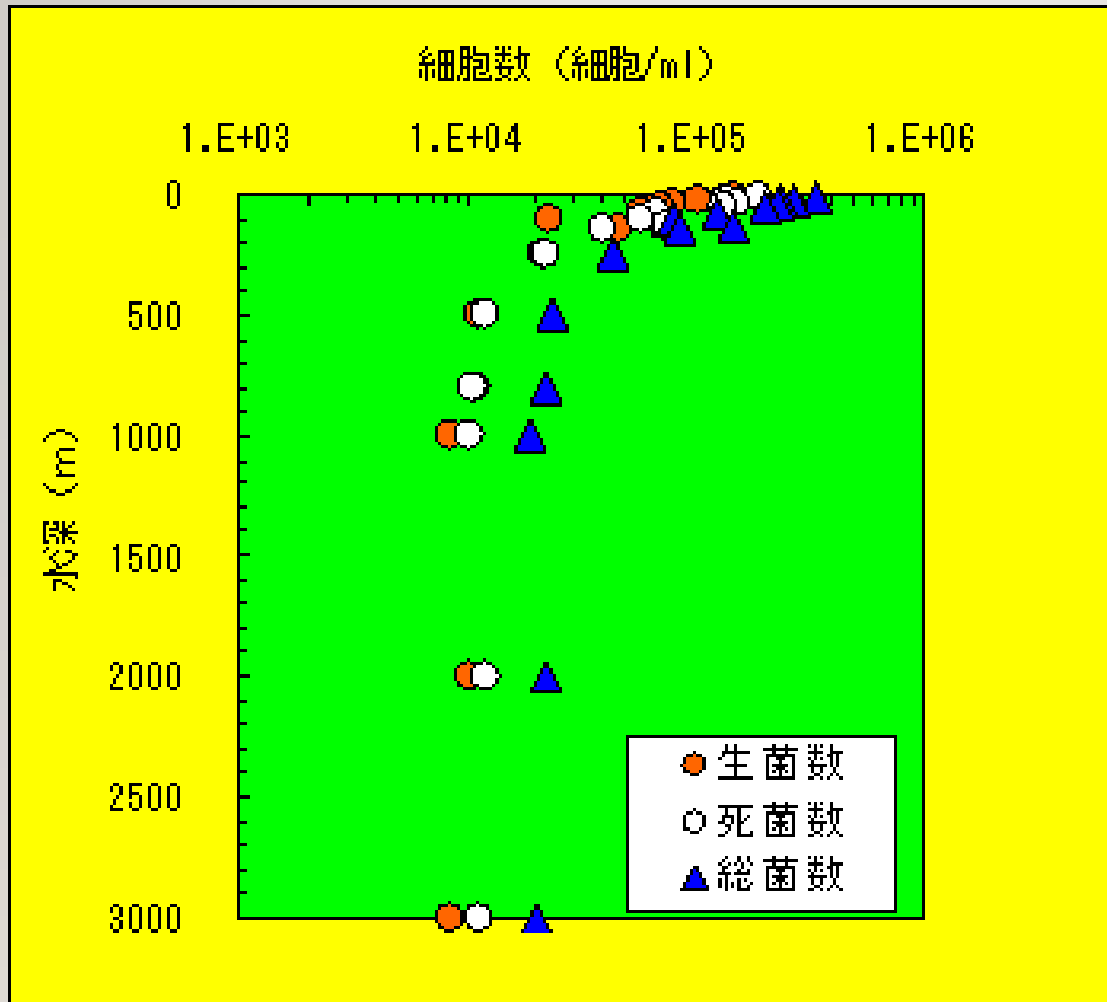
亜熱帯の海

Figure 15.8 Biomass of the zooplankton and phytoplankton are closely coupled in (a) polar latitudes and (b) subtropical latitudes.



月

海水深度とバクテリア数



- 紀伊半島沖の水深 **3,000m** の海域において海水を採取して、その中のバクテリア細胞数を、生・死菌別に染色して計数した例
- (出典 :

レッドフィールド比

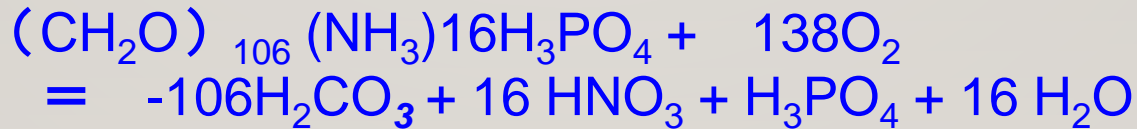
陸上であっても海洋であっても、生態系の基礎は植物が担っている。

植物の光合成の産物を基礎生産または一次生産 (primary production) という。



1 mol の炭水化物の合成に120 kcal のエネルギーが必要。
このエネルギーは植物の持つクロロフィルaに由来。

海洋中の生物体を構成する原子比は一定



左 → 右 酸化・分解

左 ← 右 光合成