

生態学 I (石田 厚)

—植物の生理生態学をベースにした生態学—

- 1) 5月18日 生態系：大気と気象
- 2) 5月25日 個体レベル、群落レベルの物質生産
- 3) 6月01日 個葉のガス交換・エネルギー交換
- 4) 6月08日 植物の水利用特性
- 5) 6月15日 植物の通水性と形態

生態学: 生物とその環境との相互作用を研究する学問
(空間・時間スケールをいれた四次元)

その相互作用のある空間：生態系

非生物要因 (Abiotic factors)

光、温度、水、大気 (CO₂, H₂O, O₂, O₃, 気圧 etc.)

地形、地質、土壌

(地温、水、pH、栄養塩、通気性、斜面 etc.)

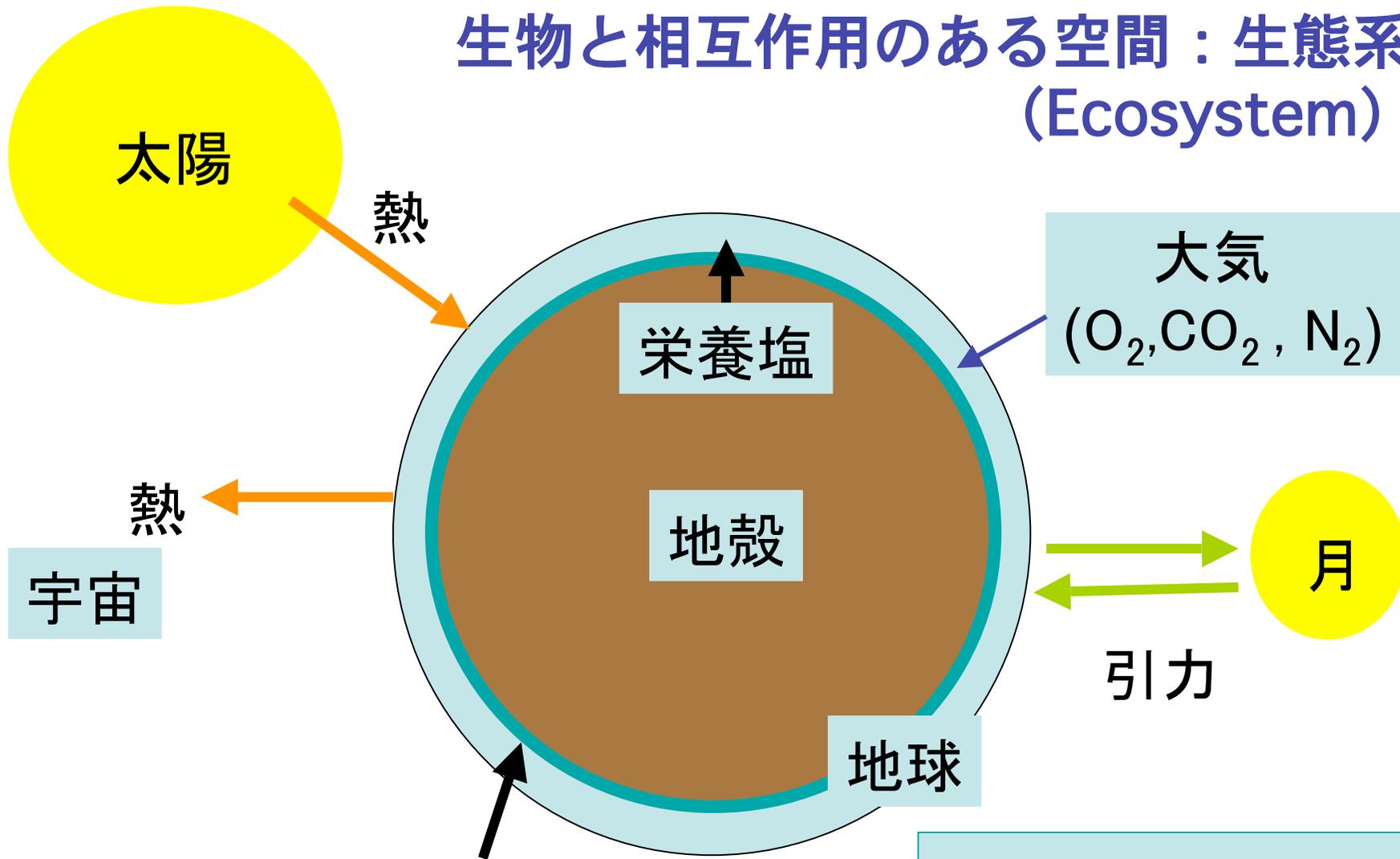
地質の歴史、山火事、踏みつけ

(ゴンドワナ時代のような古い地盤か、火山性の新しい地盤か?)

生物要因 (Biotic factors)

種内競争、種間競争、病原菌、被食・捕食、
共生・寄生、成長、繁殖、遷移、森林の更新、
資源サイクル

生物と相互作用のある空間：生態系 (Ecosystem)



Biosphere (生存圏)
生命体の生活できる空間

物質の移動：物理式
物質の反応：化学式
→ 生理生態学

植物は固着性であるため、生理機能や形態特性を変えて対処していく必要がある。→ 植物生理生態学：

物理式や化学式をベースにして、植物の生理機能や形態特性（細胞—個体構造）から、生態学的な現象を理解する

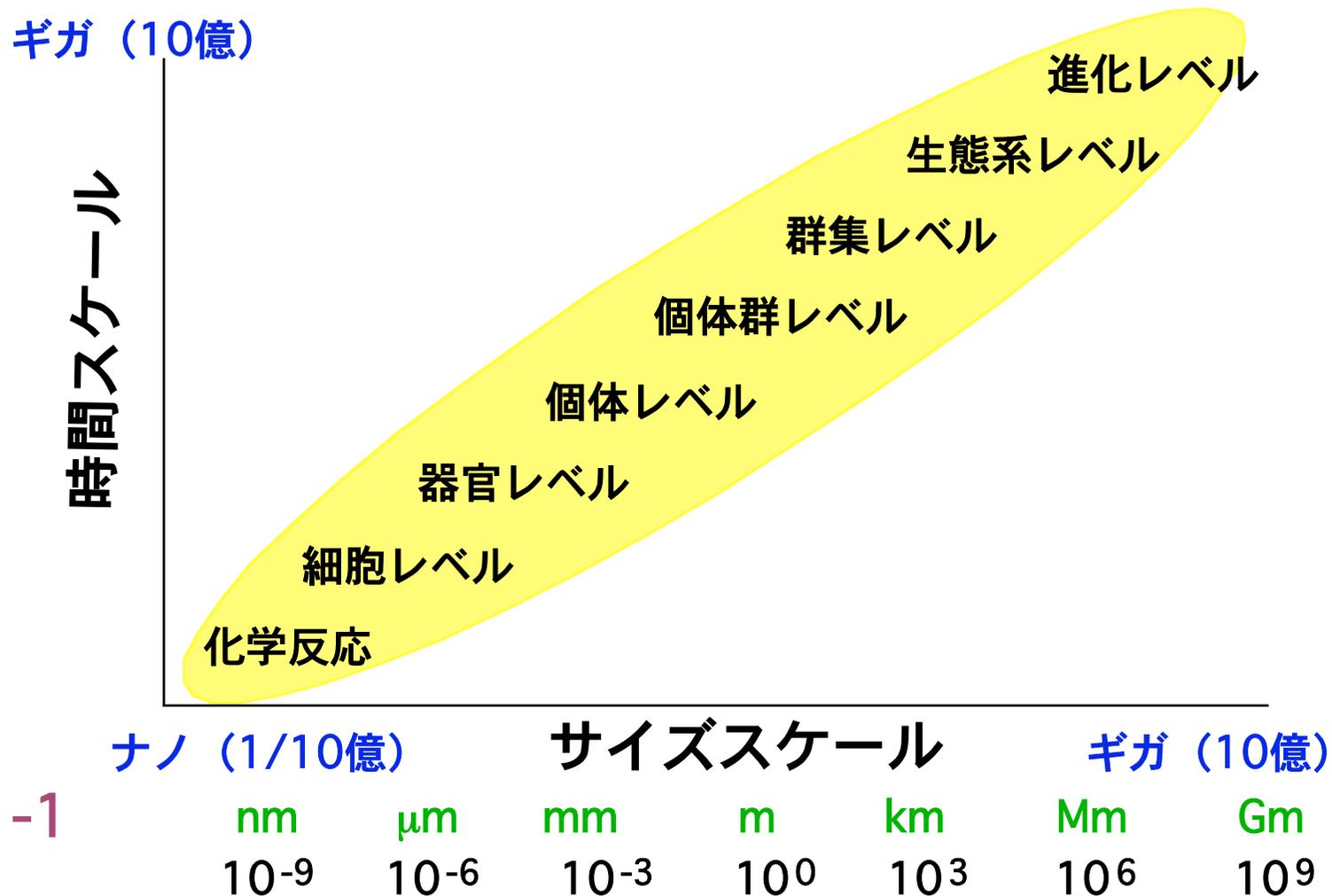


図1-1

「地球の歴史と大気」

約46億年前：地球が誕生。この時、大気中に酸素は無い。

現在の大気組成：N₂ ちっ素 78%
O₂ 酸素 21%
Ar アルゴン 0.93%
CO₂ 二酸化炭素 0.039%
(390ppm)

酸素の成因

1) 紫外線による水蒸気 (H₂O) の分解。その量は大変に少なく、大気圧に換算して1hPa。現在の地球の大気圧は 1013hPa。酸素はその21%なので213hPaの酸素分圧がある。なので紫外線による反応では現在の酸素の量の1/200程度のみ生産。

2) 植物の光合成

$$6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}^* \xrightarrow{\text{光}} \underset{\text{デンプン}}{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} + 6 \text{O}_2^*$$

約27-30億年前：葉緑体の祖先であるシアノバクテリア（藍藻）

「大気組成の歴史」

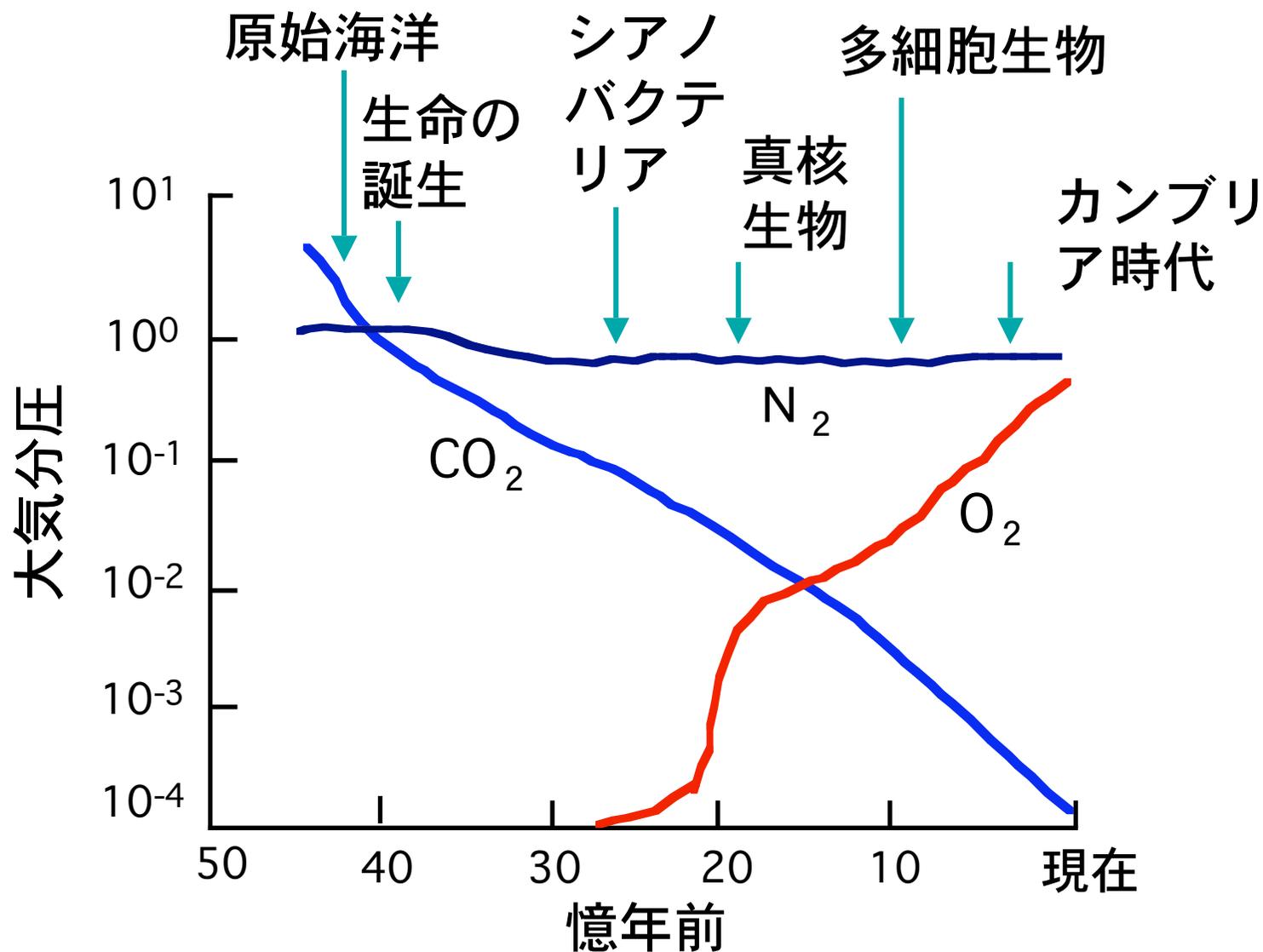


図1-2

「地球の進化」岩波地球惑星科学講座13, 1998年) の図5.16より作成

「先カンブリア時代（46億年～5億4200万年（形ある生物化石）」

27億年前（32億年前）：西オーストラリアの海岸でストロマトライト（シアノバクテリアの層状コロニー化石）。光合成は水中に光が届く浅瀬。鉄イオンの酸化は浅海から徐々に進行。

27億年前～19億年前：鉄鉱石（ Fe_2O_3 , Fe_3O_4 ）が大量形成。現在の世界中の鉄鉱石の90%以上を供給。このころまでは、植物がつくる酸素は鉄などを酸化させることで消費。その後、大気中の酸素濃度は上昇。

グルコース1分子から

O_2 濃度1%以下→嫌気呼吸（解糖系）	ATP 2分子
O_2 濃度1%以上→好気呼吸	ATP38分子

「古生代時代以降の大気組成」

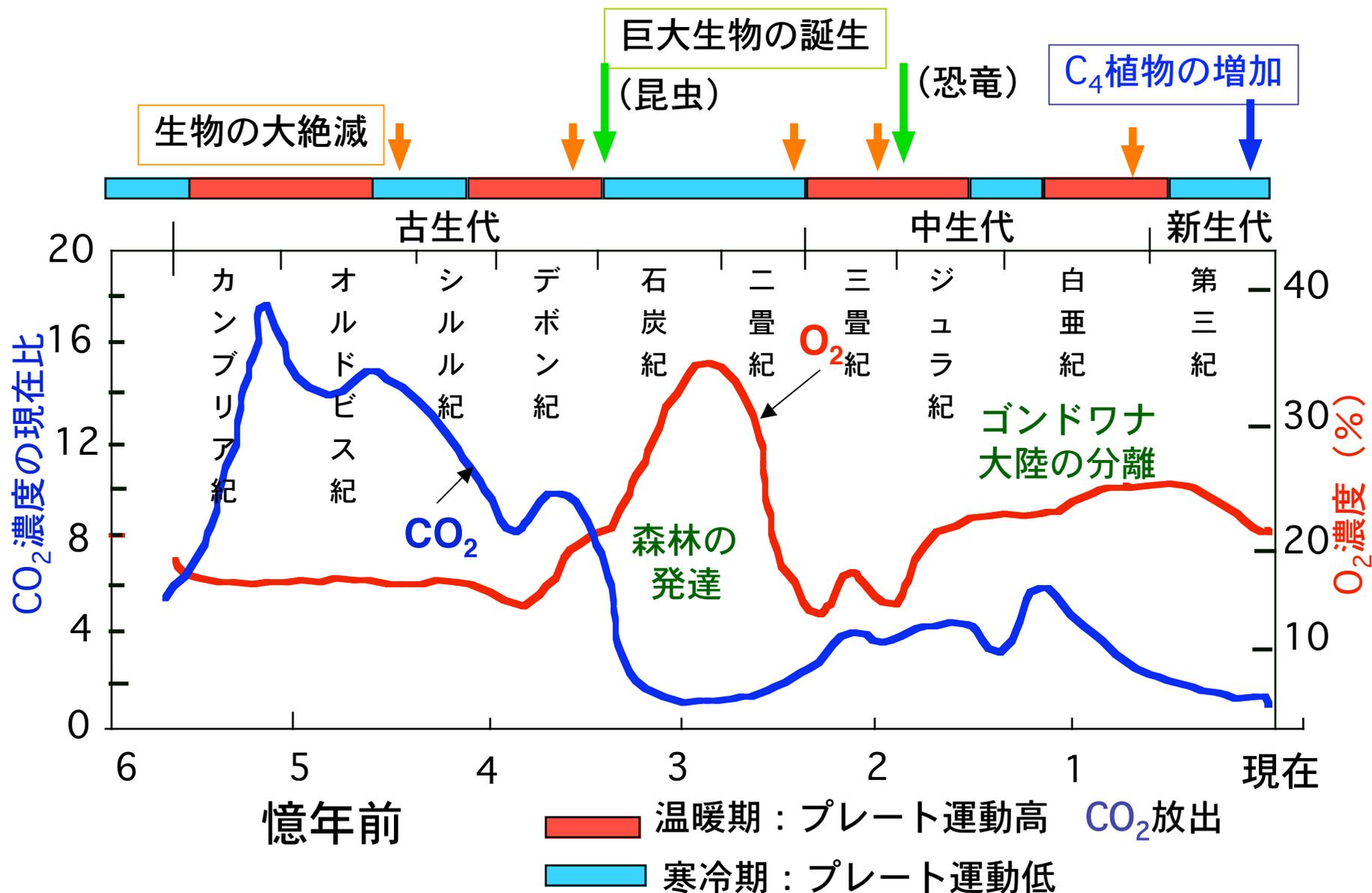


図1-3

「地球の進化」 (岩波地球惑星科学1313, 1998年) 図6.15より作成

「現在の大気CO₂濃度の推移」

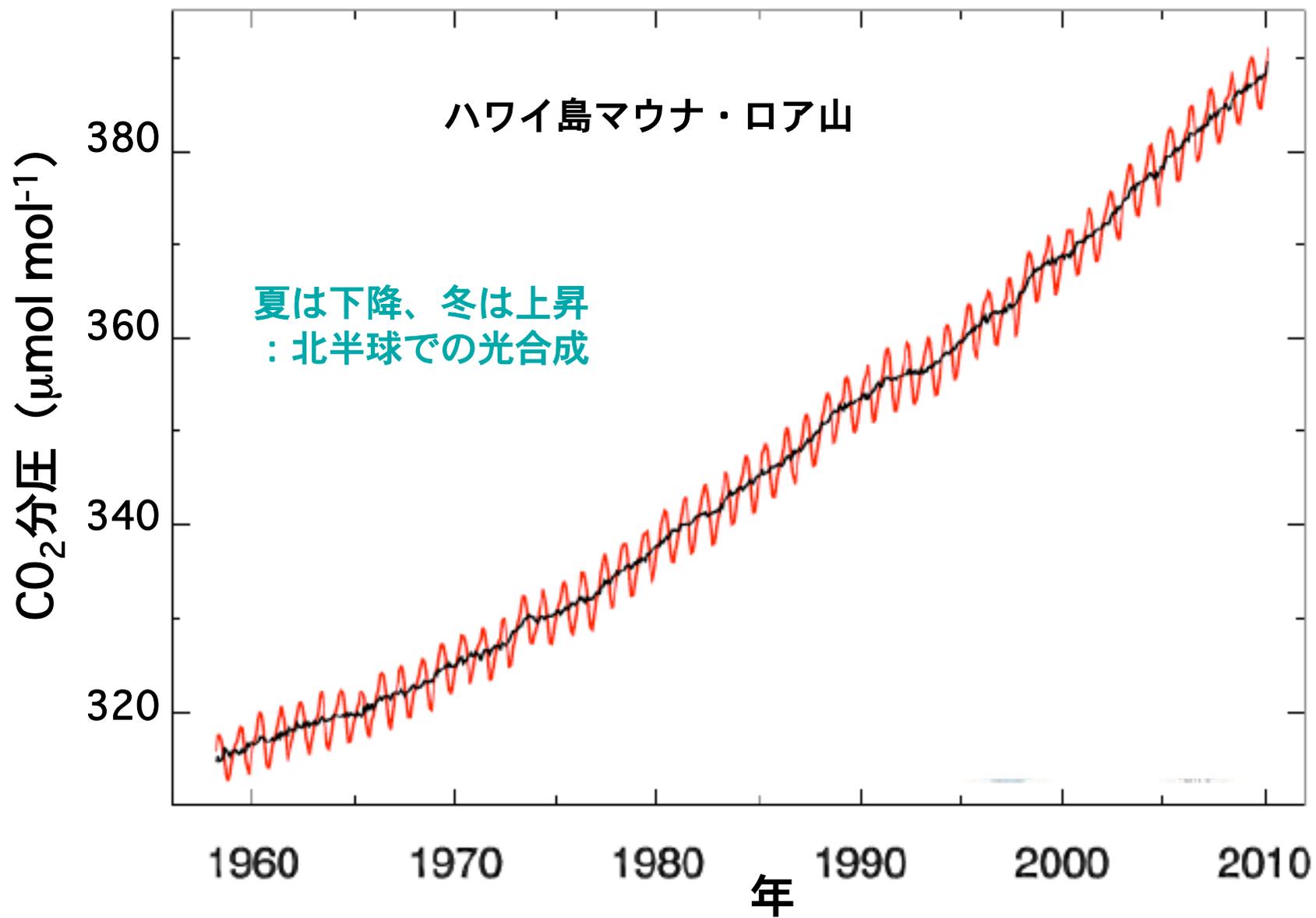
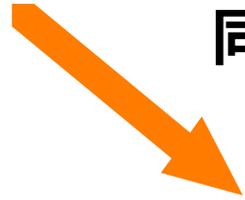


図1-4

「http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo_data」より改変

「生態系の物資循環」

太陽エネルギー



同化：無機物を有機物にする
(CO_2 , NO_3)

生産者

生物

異化：有機物を無機物にしてエネルギーを取りだす

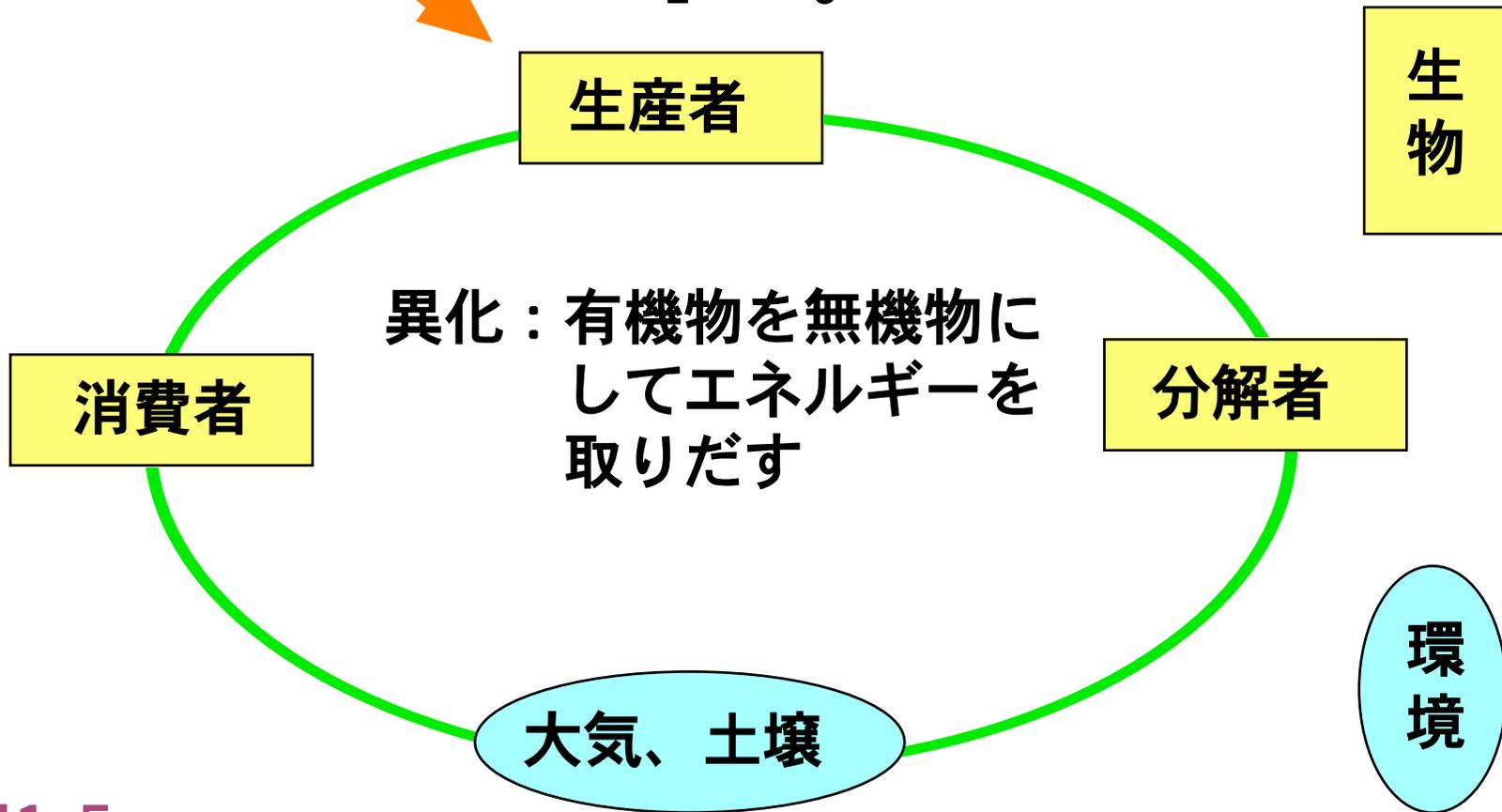
消費者

分解者

大気、土壌

環境

図1-5



「光」

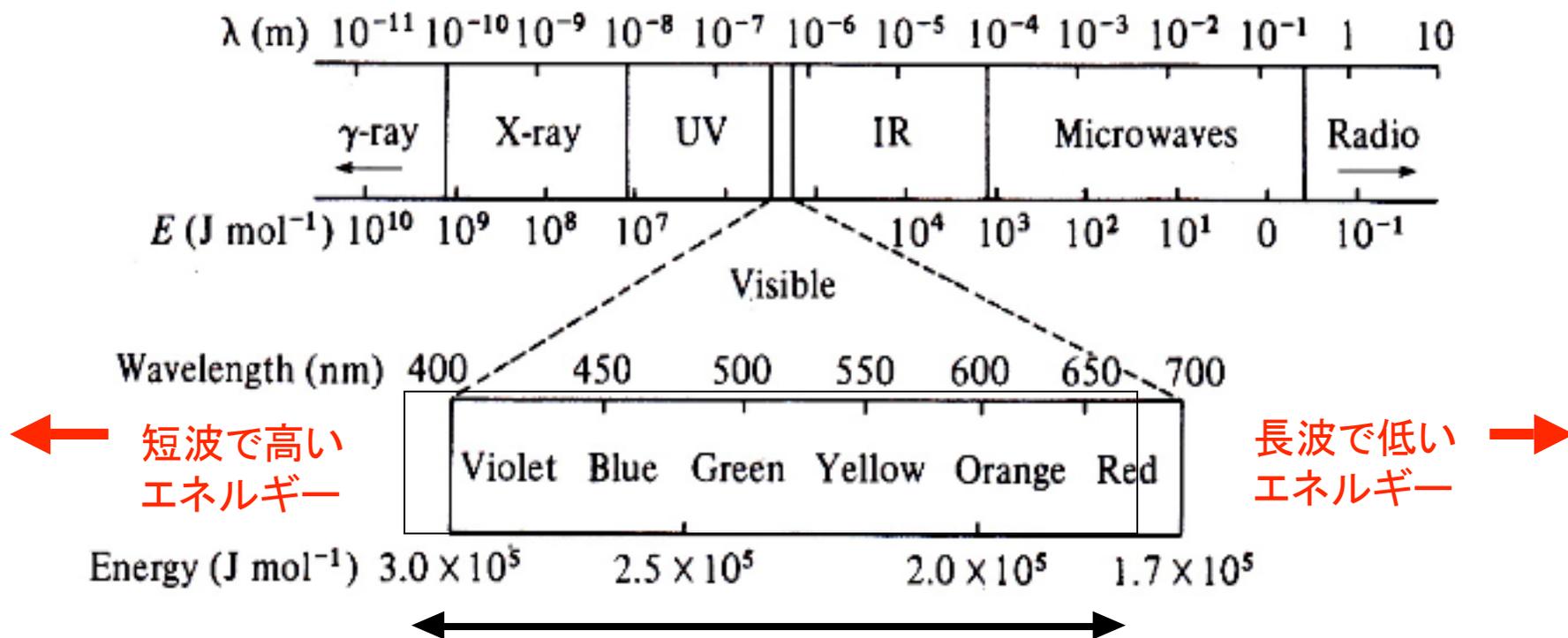
光が植物に与える影響

- 1) 熱： 代謝（呼吸）、エネルギーバランス（蒸散）
- 2) 光合成：光エネルギーを使ってCを有機物に同化
- 3) 形態形成：形（波長反応）、発芽（波長反応）、
光周性（日長反応）
- 4) 阻害：光阻害、紫外線によるDNA損傷

放射（radiation）とは何か？

- 1) 物体から出る電磁波（光も含む）
- 2) 粒子の性質と、波の性質をもつ

「放射スペクトルの波長帯の名称」



人の可視光帯
でもある

光合成有効放射 (400-700 nm)

Photosynthetically active radiation (PAR)
Photosynthetic photon flux density (PPFD)
Photosynthetic photon flux (PPF)

図1-6

Jones 「Plants and Microclimate」 (1992) Cambridge, Fig. 2.1より改変

「波長 λ の光量子 1 mol の持つエネルギー (E_λ)」

$$E_\lambda = N_0 h \nu = N_0 h c / \lambda$$

N_0 : アボガドロ数 ($6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

h : Planck定数 ($6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$)

ν : 振動数 ($= c / \lambda$)

c : 光速 ($3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$)

λ : 波長 (m)

$$E_\lambda \text{ (J mol}^{-1}\text{)} = \text{mol}^{-1} \cdot \text{J s} \cdot \text{m s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

単位の確認

青い波長400nmの光量子 1 mol のエネルギーは？

$$6.02 \times 10^{23} \times 6.63 \times 10^{-34} \times (3 \times 10^8) / (400 \times 10^{-9}) = 300 \text{ kJ}$$

赤い波長700nmの光量子 1 mol のエネルギーは？

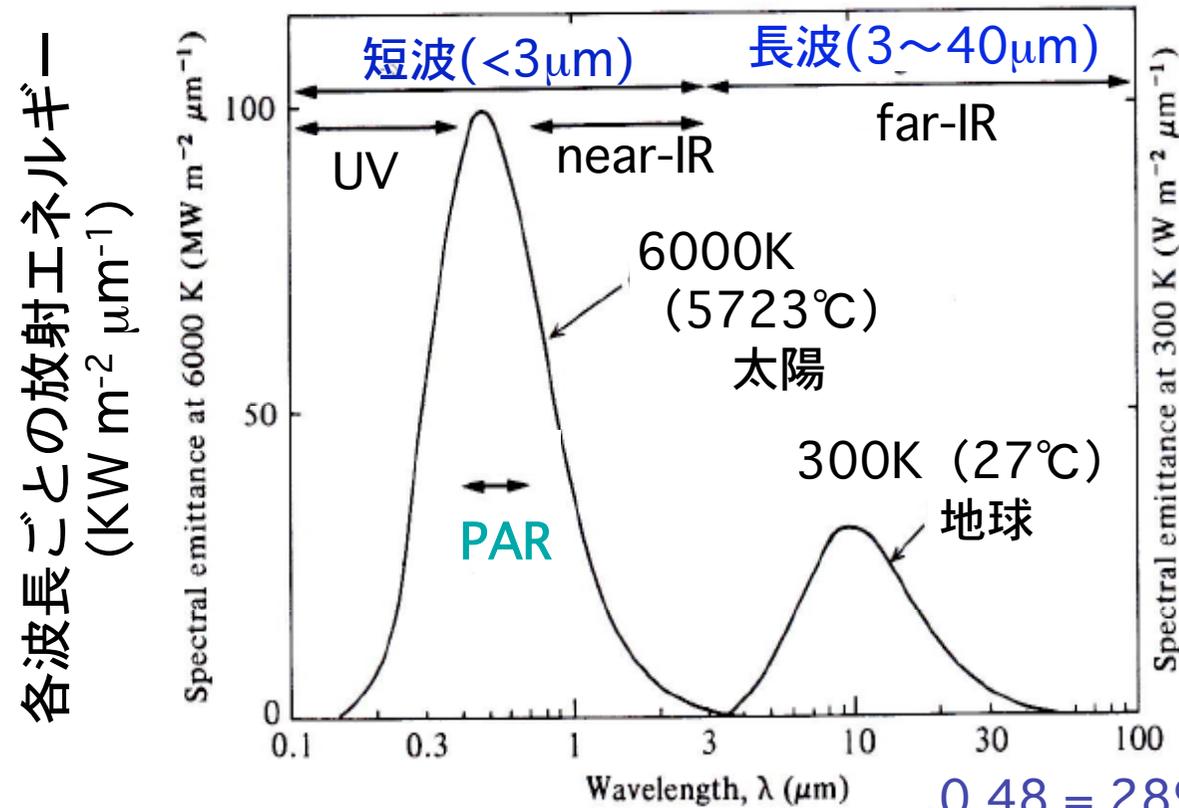
$$6.02 \times 10^{23} \times 6.63 \times 10^{-34} \times (3 \times 10^8) / (700 \times 10^{-9}) = 171 \text{ kJ}$$

- ATPの加水分解のエネルギーは、約 30~40 kJ mol⁻¹
- C-Cの共有エネルギーは、348 kJ mol⁻¹

「物体から放出される放射」

黒体 (Black body) : 照射されるすべての放射を吸収し、その温度で放出可能な最大のエネルギーを放出する物体

黒体からの放射: プランク (Planck) の分布則



Jones (1992)
「Plants and Microclimate」
Cambridge
Fig. 2.2より作成

図1-7

← X 軸はLog
スケール

ピーク波長 (μm) = 2897/T

0.48 = 2897/6000K (PAR) : 太陽 (480nm)

9.66 = 2897/300K (IR) : 地球

「物体から放射されるエネルギー量 ϕ 」

ϕ はプランクの分布則を積分して、放射率をかけたもの
(単位 : W m^{-2})

$$\phi = \varepsilon \sigma T^4$$

σ : Stefan-Boltzmann 定数 ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T : 絶対温度

ε : 放射率 (黒体の場合は 1)

「地球上の地面で受ける光」

1) 散乱減衰：大気による散乱 (scattering)

→ 分子によるレイリー散乱 (Rayleigh 1871)
： 短波の青い光が散乱されやすい

→ エアロゾルによるミー散乱 (Mie 1908)
： 波長に依存せず
(雲やスモッグが白いのはこのため)

2) 吸収減衰：大気組成分子による吸収 (absorptance)

→ 波長依存性
減衰率は、太陽高、入射角度、高度に依存

「2）大気分子による吸収」

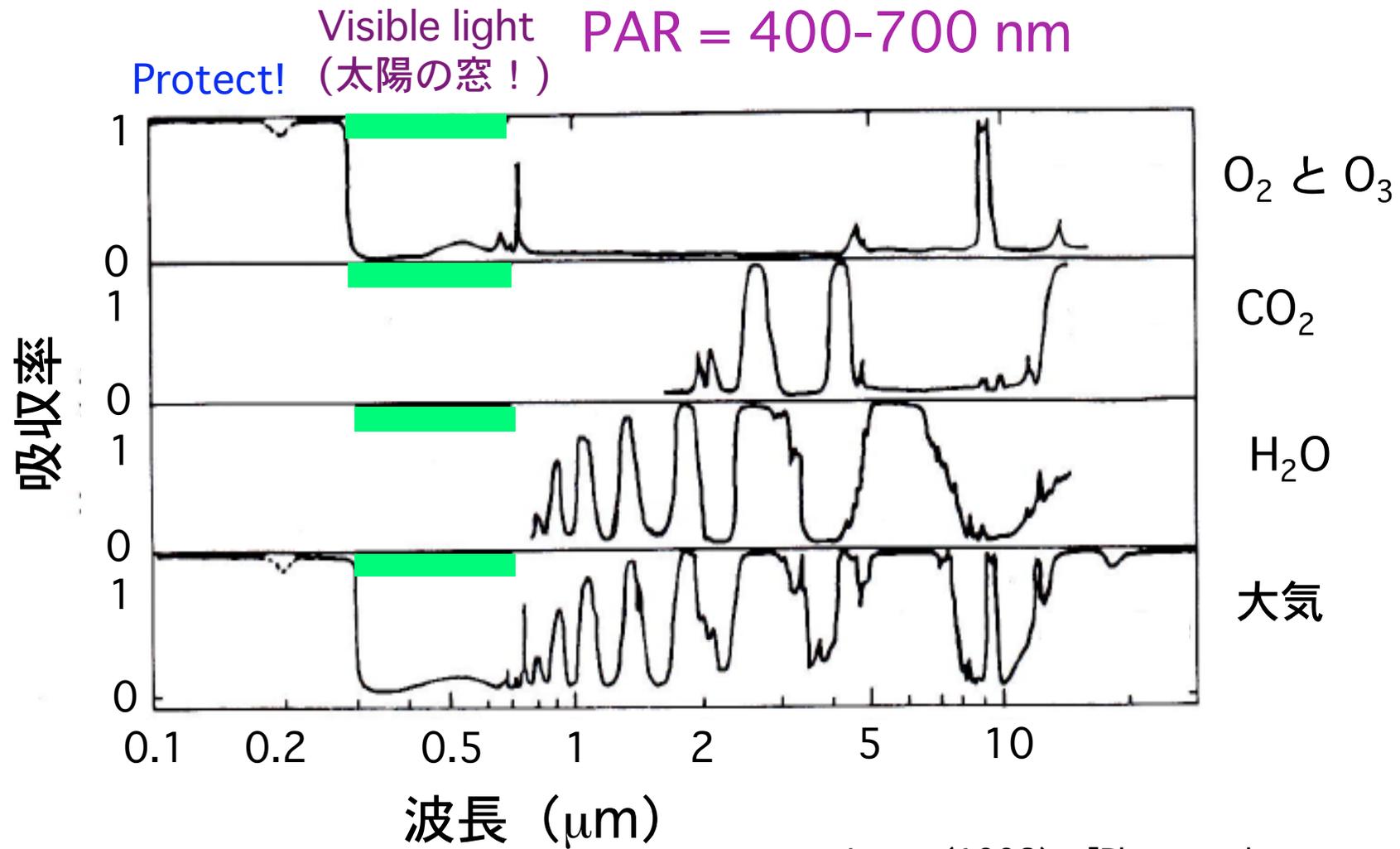


図1-8

Jones (1992) 「Plants and
Microclimate」 Cambridge
Fig. 2.5より作成

「大気透過による短波放射の吸収」

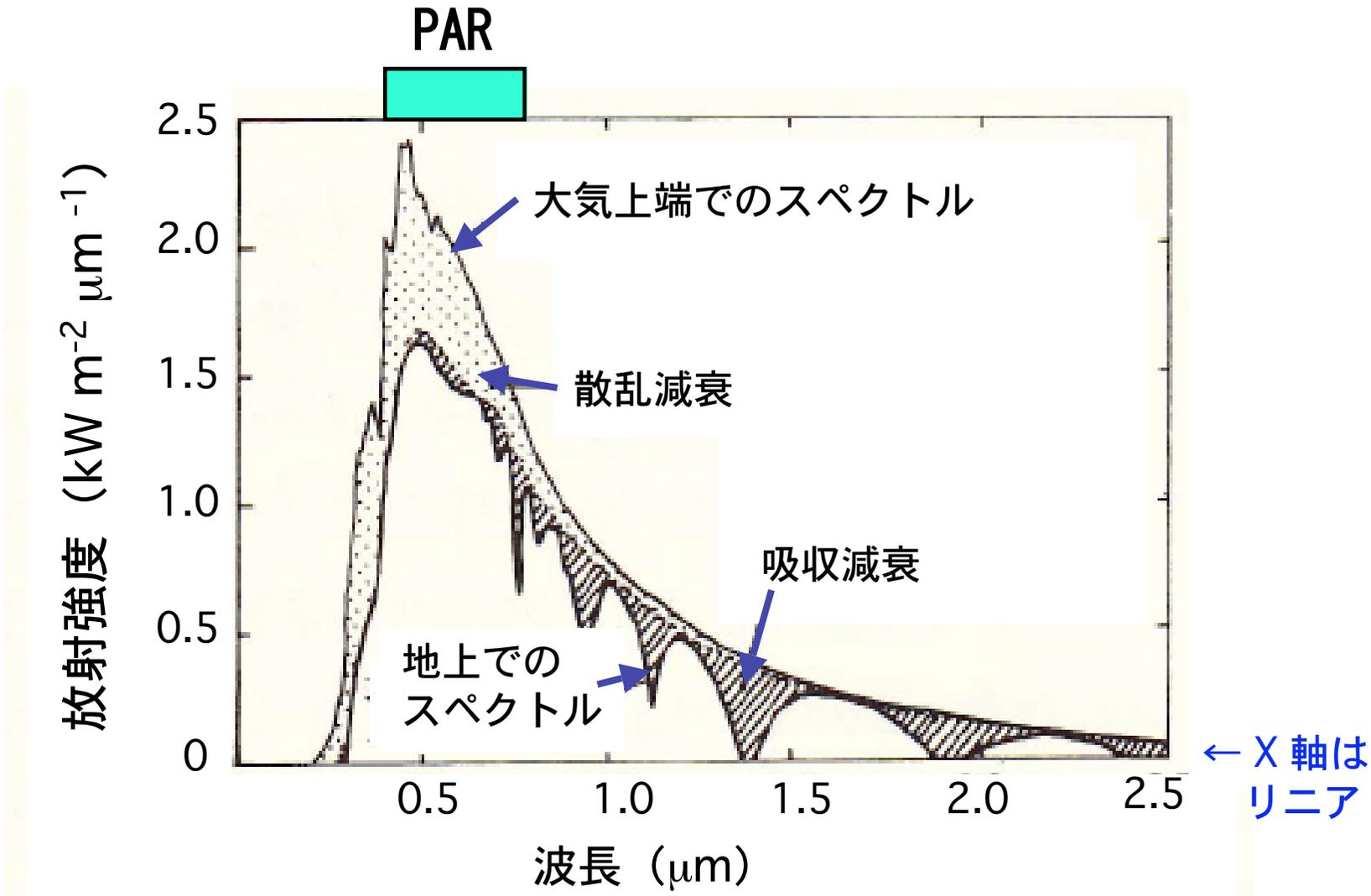


図1-9

近藤 「水環境の気象学」
(2000) 朝倉書店 図4.1より

「地球上の照射面で受ける放射」

→ 受ける面での、太陽高、入射角度、高度に依存

1) Beer's Law or Beer-Lambert's Law :

単一で平行な光は、均質な物体を通過する際、光強度 (Flux density, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) は、距離に対し指数関数で減少。

* その際、分子や原子のエネルギーは、光エネルギーの吸収によってより高くなる。

$$I = I_0 e^{-k x}$$

I : 光強度, I_0 : 上端での光強度, x : 光の通過距離,
 k : 吸光係数

$$I/I_0 = e^{-k x}$$

I/I_0 : 光の減衰率

「大気透過による放射の吸収」

1) Beer-Lambert's Law (ベア・ランベルト則)

$$I = I_0 e^{-k x}$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(I/I_0) &= -k x \\ \text{Log}(I/I_0) &= -k' x \end{aligned}$$

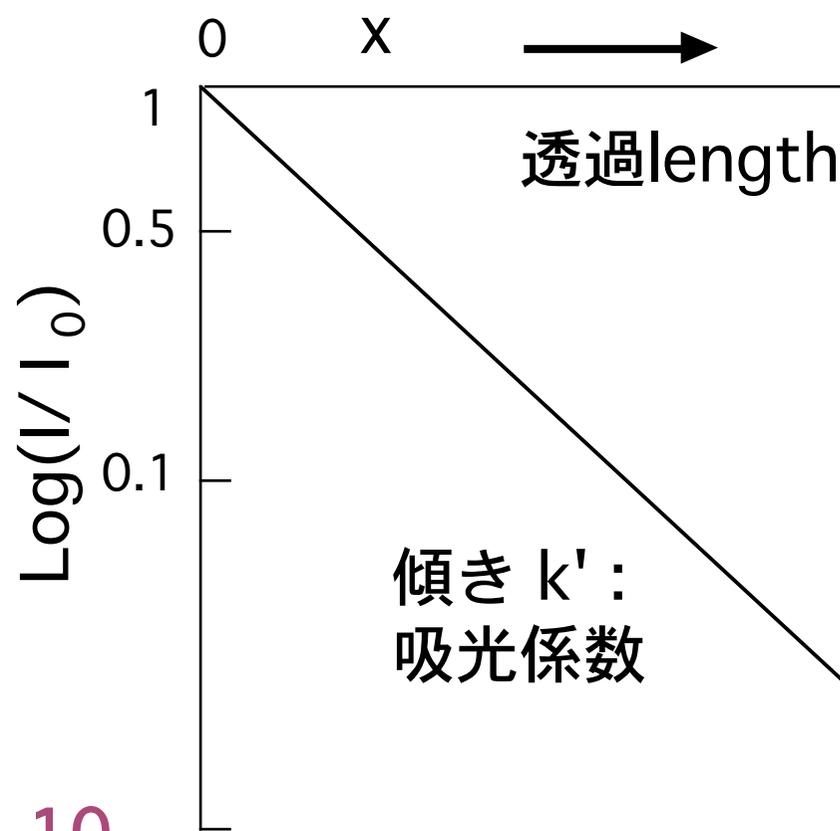
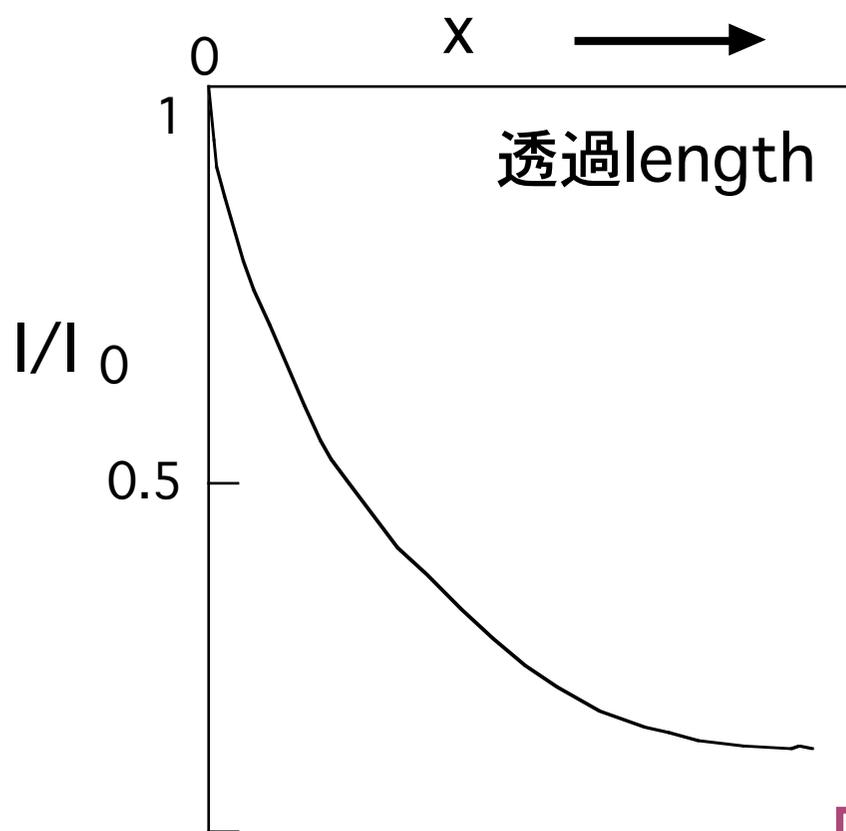


図1-10

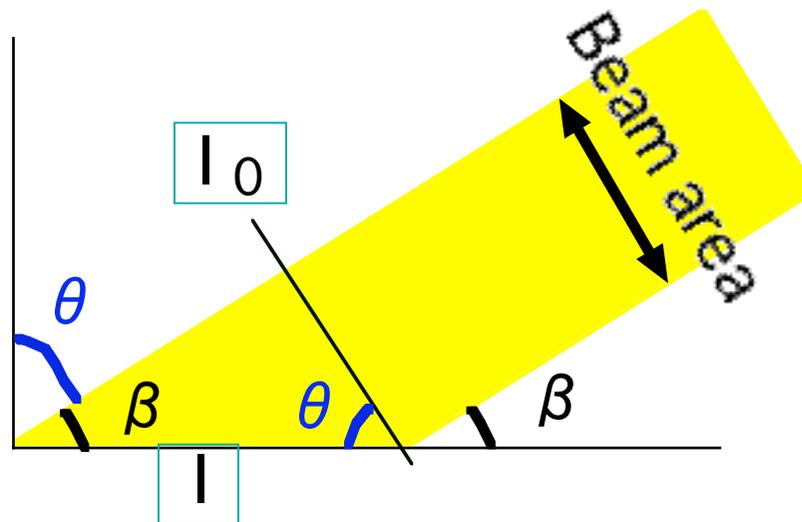
「受ける面の角度依存」

- 2) Lambert's Cosine Law (コサイン則) :
平行の光は、照射面に対する角度に応じて、照射面での
光強度 (Flux density, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) は低下していく。

$$I = I_0 \cos \theta = I_0 \sin \beta$$

I : 照射面での光強度, I_0 : 最初の光強度

図1-11



「大気透過による放射の吸収」

→ 受ける面での、太陽高、入射角度、高度に依存

- 1) Bear-Lambert's Law : x
- 2) Lambert's Cosine Law : β

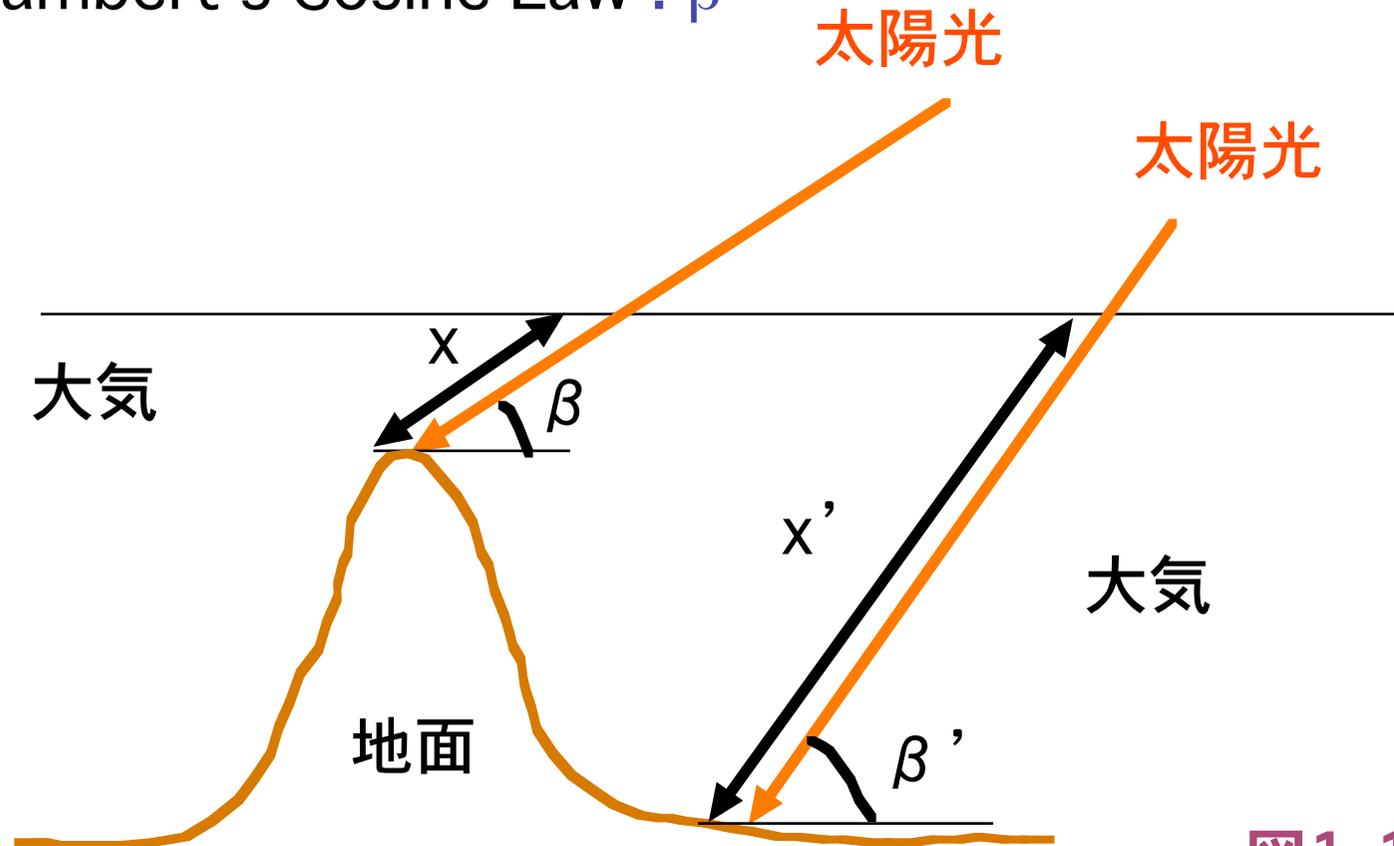


図1-12

「地面や葉が受ける放射の例」

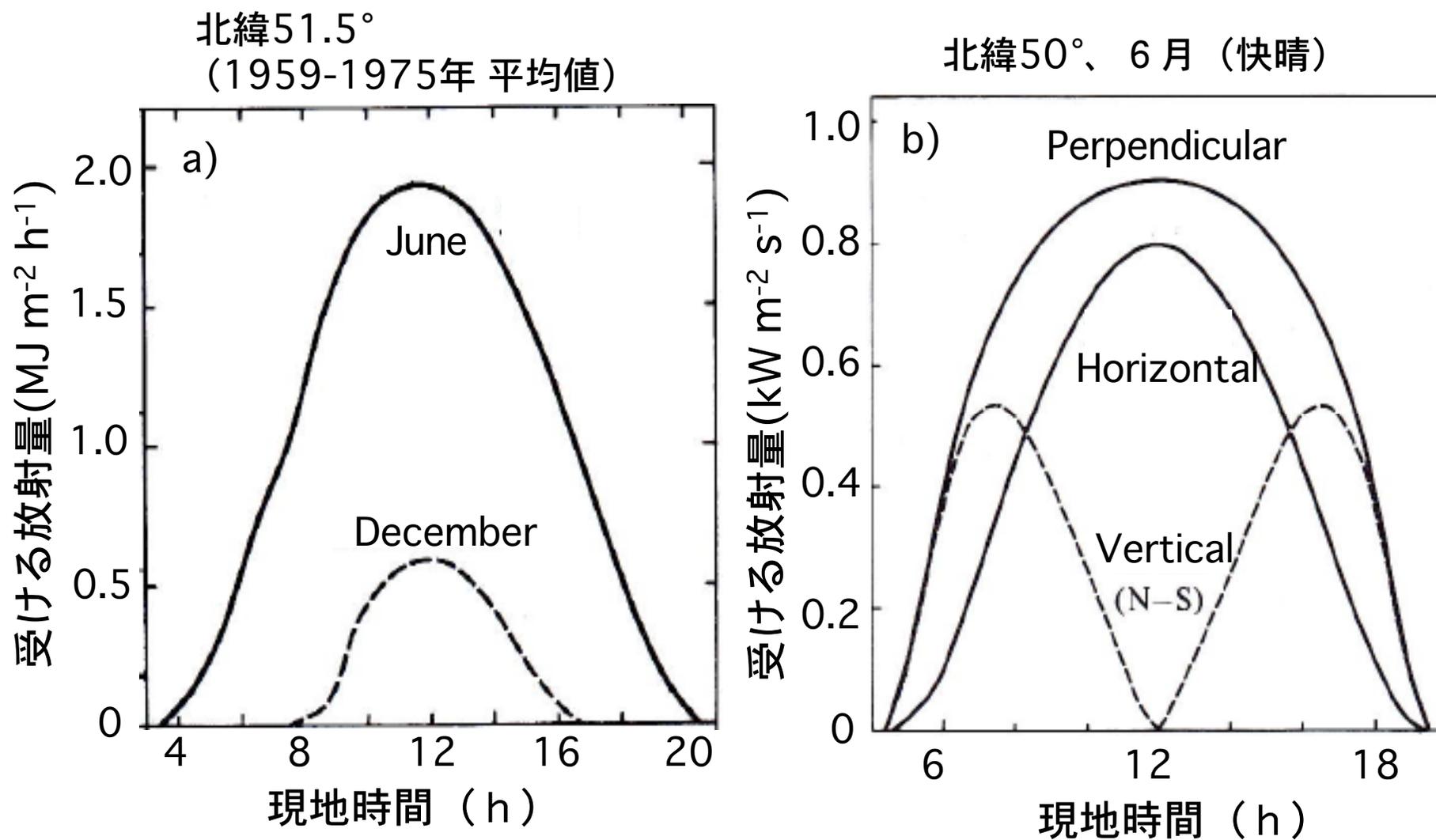


図1-13

Jones (1992) 「Plants and Microclimate」 Cambridge Figs. 2.7 & 2.19より作成

「地球の受ける年間短波放射量 (GJ m⁻² y⁻¹)」

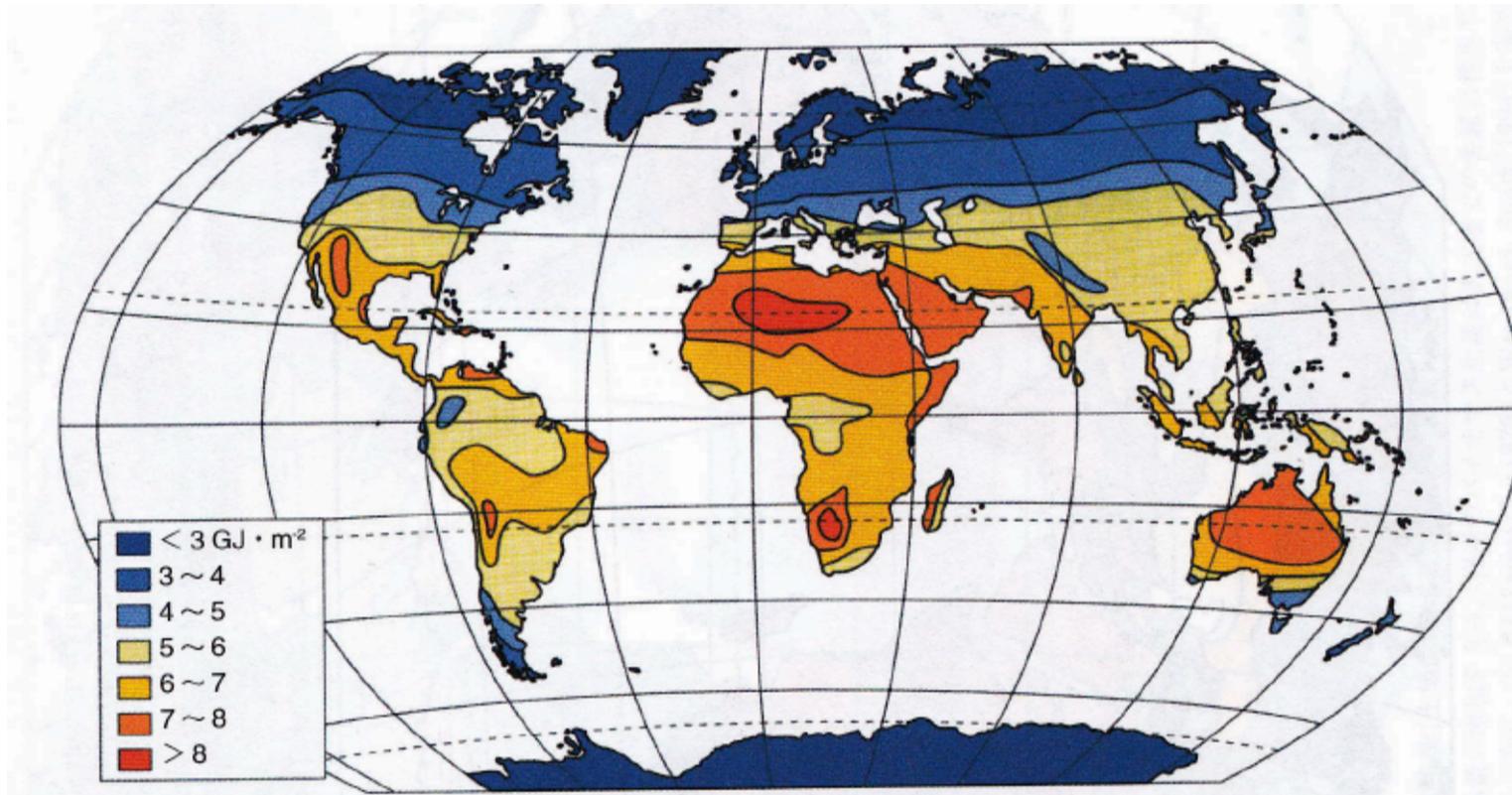


図1-14

Larcher (2001) 原図、
佐伯・舘野 監訳 「植物生態生理学」(2004) シュプリンガー東京図la より

「地球上の乾燥—湿潤地帯（降雨量/潜在蒸発散量）」

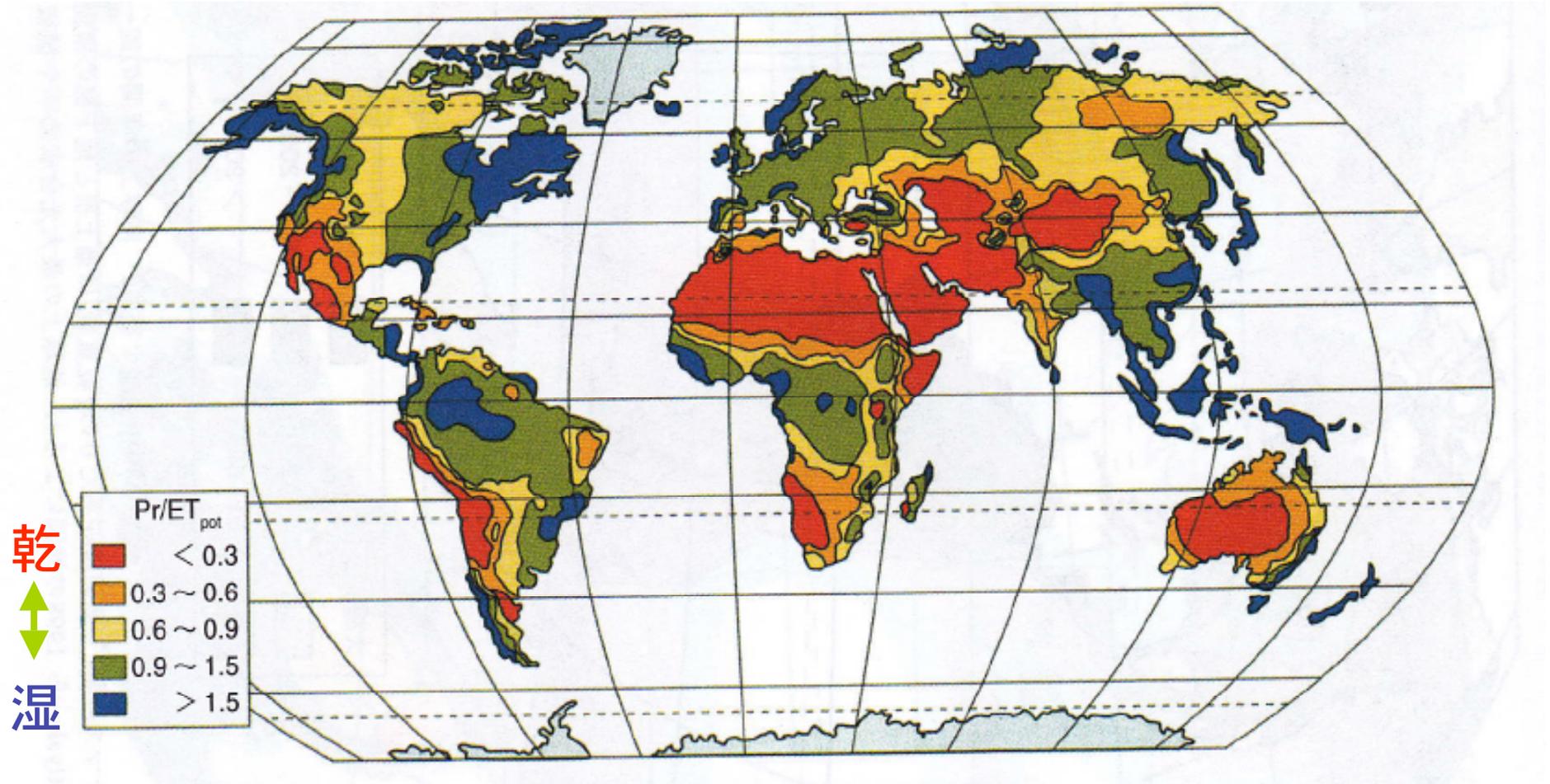
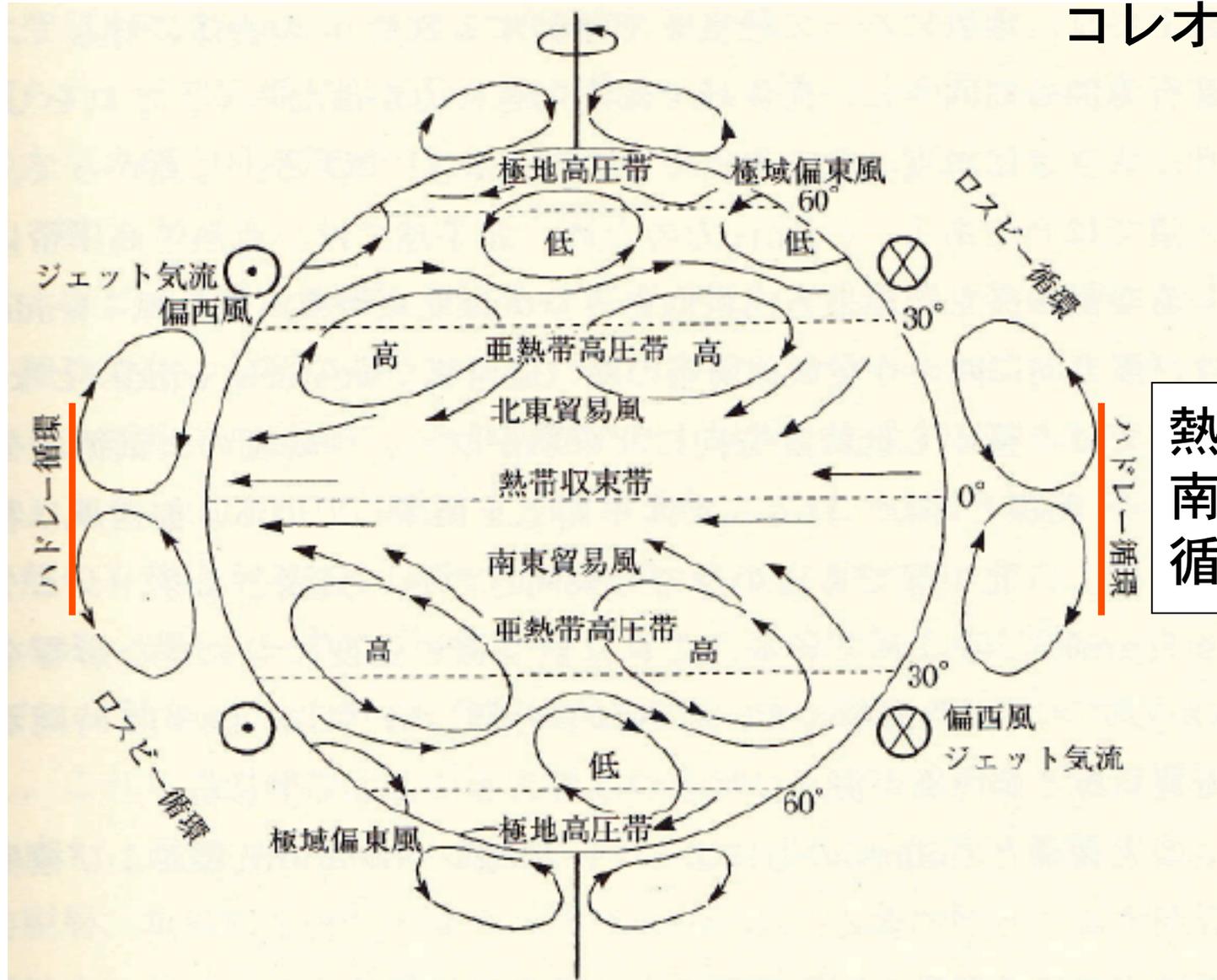


図1-15

Larcher (2001) 原図
佐伯・舘野 監訳 「植物生態生理学」(2004) シュプリンガー東京 図IVb

「地球の大気循環」

コレオリのカ



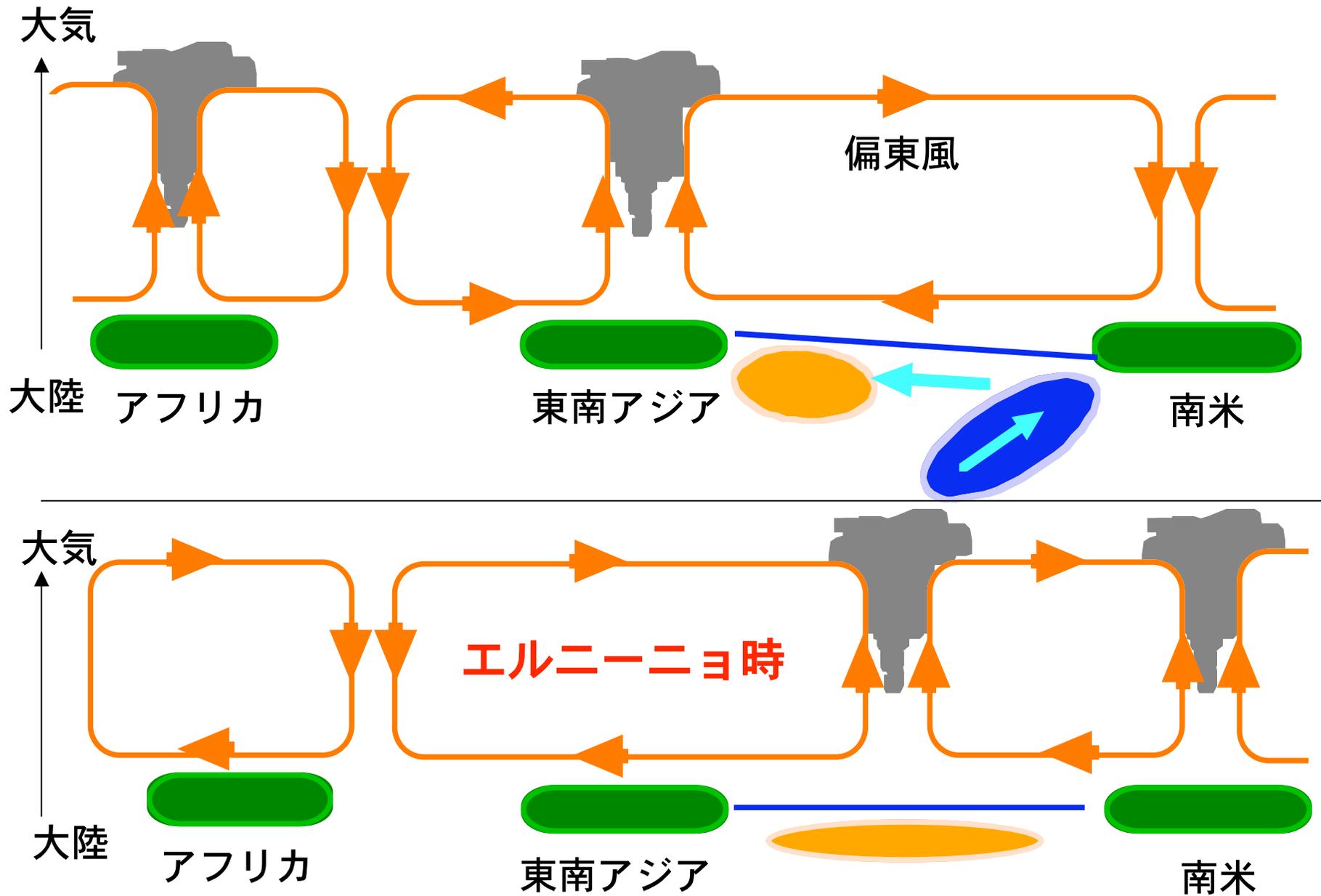
熱帯付近の
南北の大気
循環

図1-16

松本 (1993) 原図
寺島 「植物生態学」 (2004) 朝倉書店 図1.15より

「ウォーカー循環：熱帯付近の東西の大気循環」

図1-17



「世界の植生タイプ (Vegetation types)」

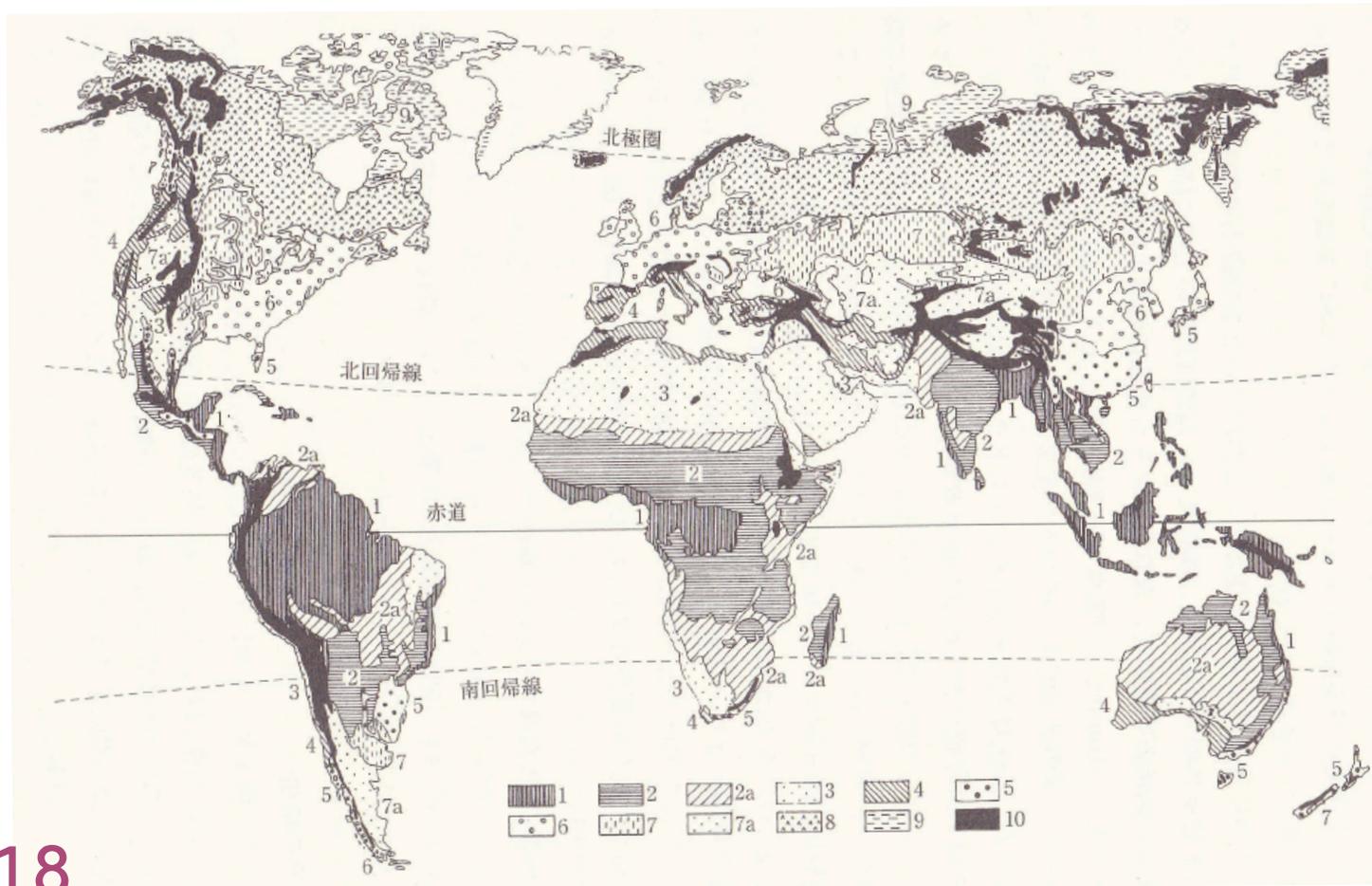


図1-18

1 熱帯多雨林、2 熱帯季節林、2a サバンナ、3 暑い砂漠、4 常緑硬葉樹林、5 常緑照葉樹林、6 冬期落葉広葉樹林、7 ステップ、7a 寒冷砂漠、8 針葉樹林 (タイガ)、9 ツンドラ、10 高山荒原

Walter (1964) 原図、寺島 (2004) 図1.16

「世界の植生と気温－降水量との関係」

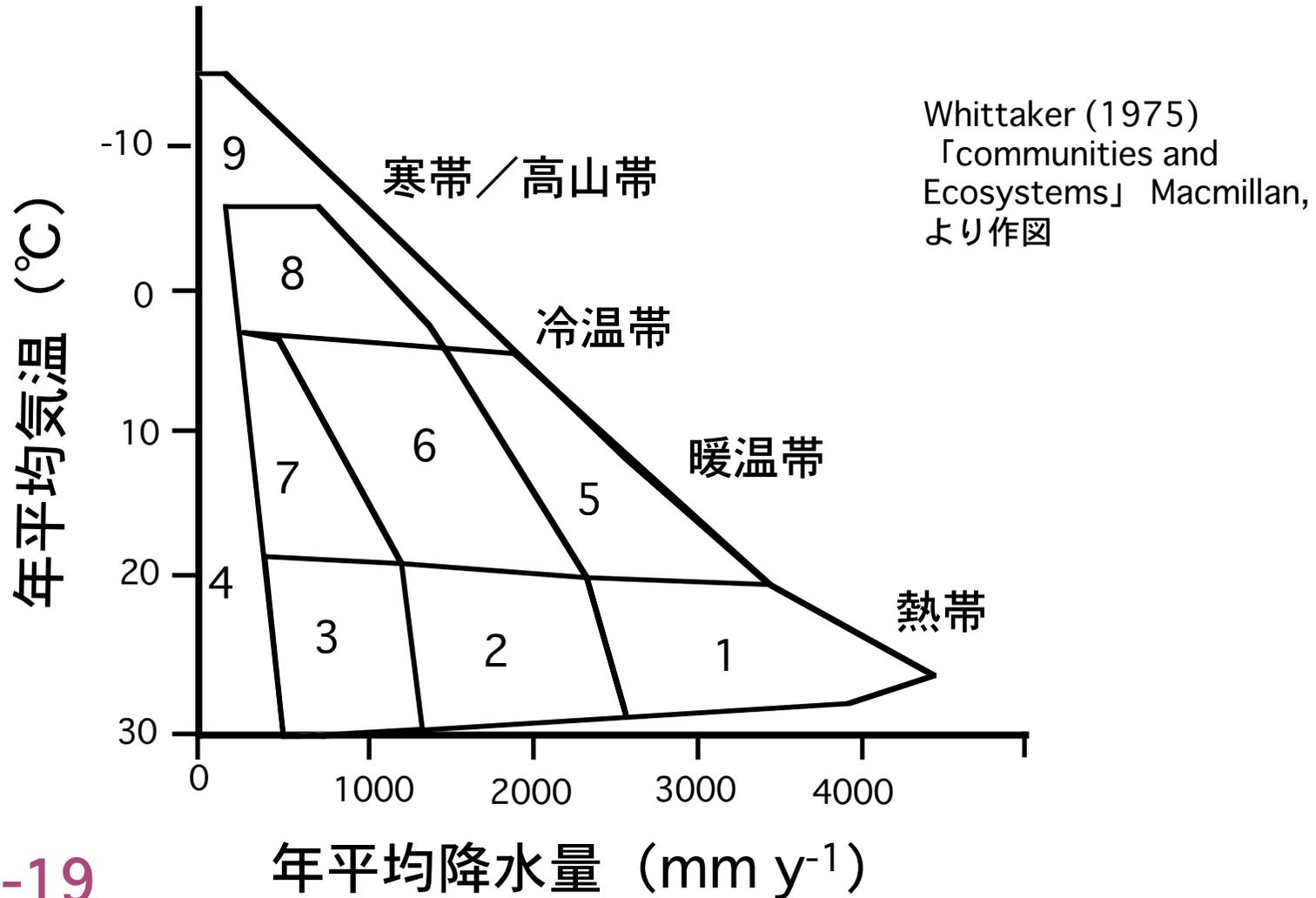


図1-19

1 熱帯多雨林、2 熱帯季節林、3 サバンナ、4 砂漠、5 温帯多雨林、6 温帯林、7 疎林／イネ科草原、8 針葉樹林（タイガ）、9 ツンドラ／高山荒原

生態学 I ー植物の生理生態ー

第1回目

生理生態学とは何か？

大気組成の歴史 (CO₂とO₂)

太陽放射と受光

気象と植生 (光と水)

光は物質循環のエネルギー源でありCO₂は生態系の物質循環の元→ 高CO₂の問題は、濃度ではなく急激な変化に問題

第2回は、植物のC利用について