

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

「物質生産を基盤としての植物個体の成長モデル」 — 植物成長は複利的 —

→ 植物体重さは指数関数的に増大

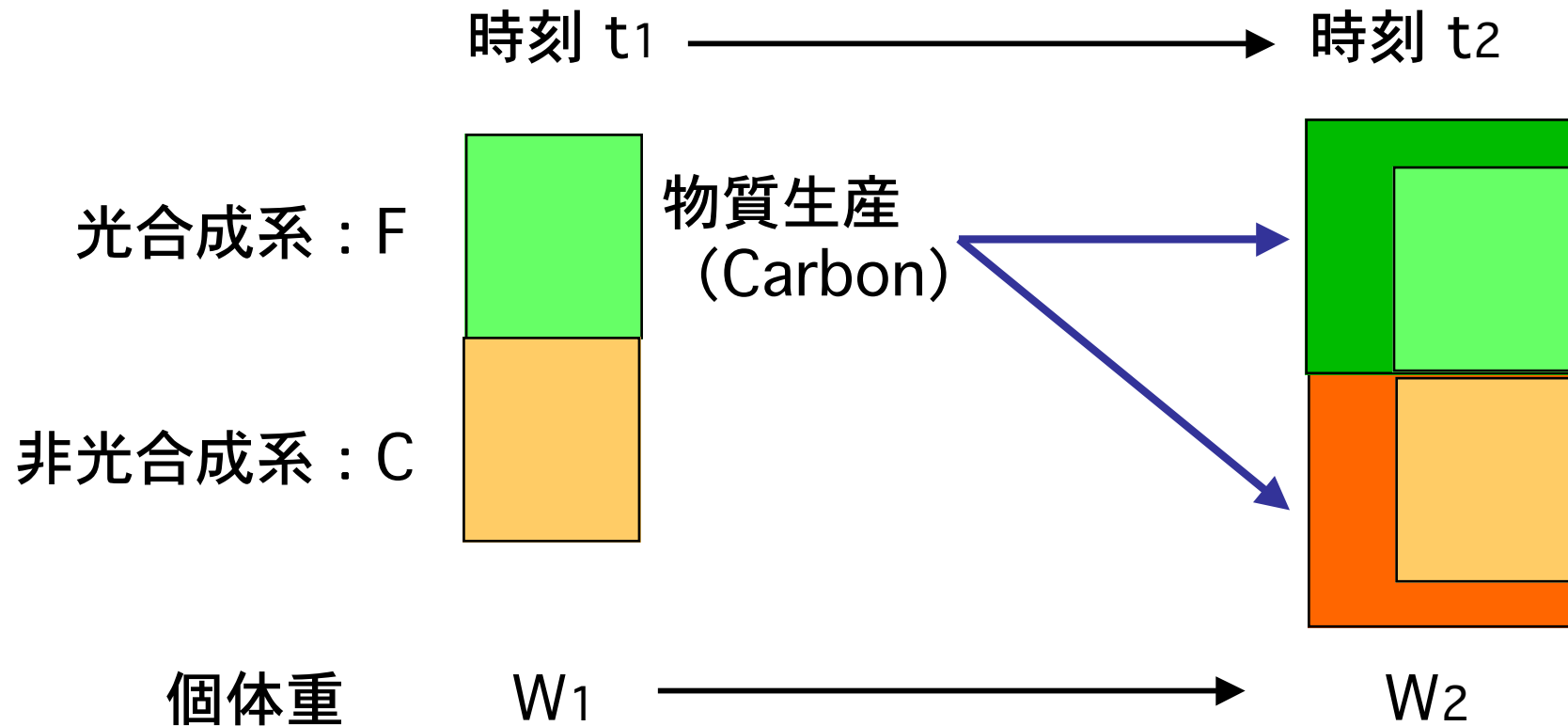


図2-1

「植物の生長（成長）の例」

Y軸の
Log
スケール
に注意！

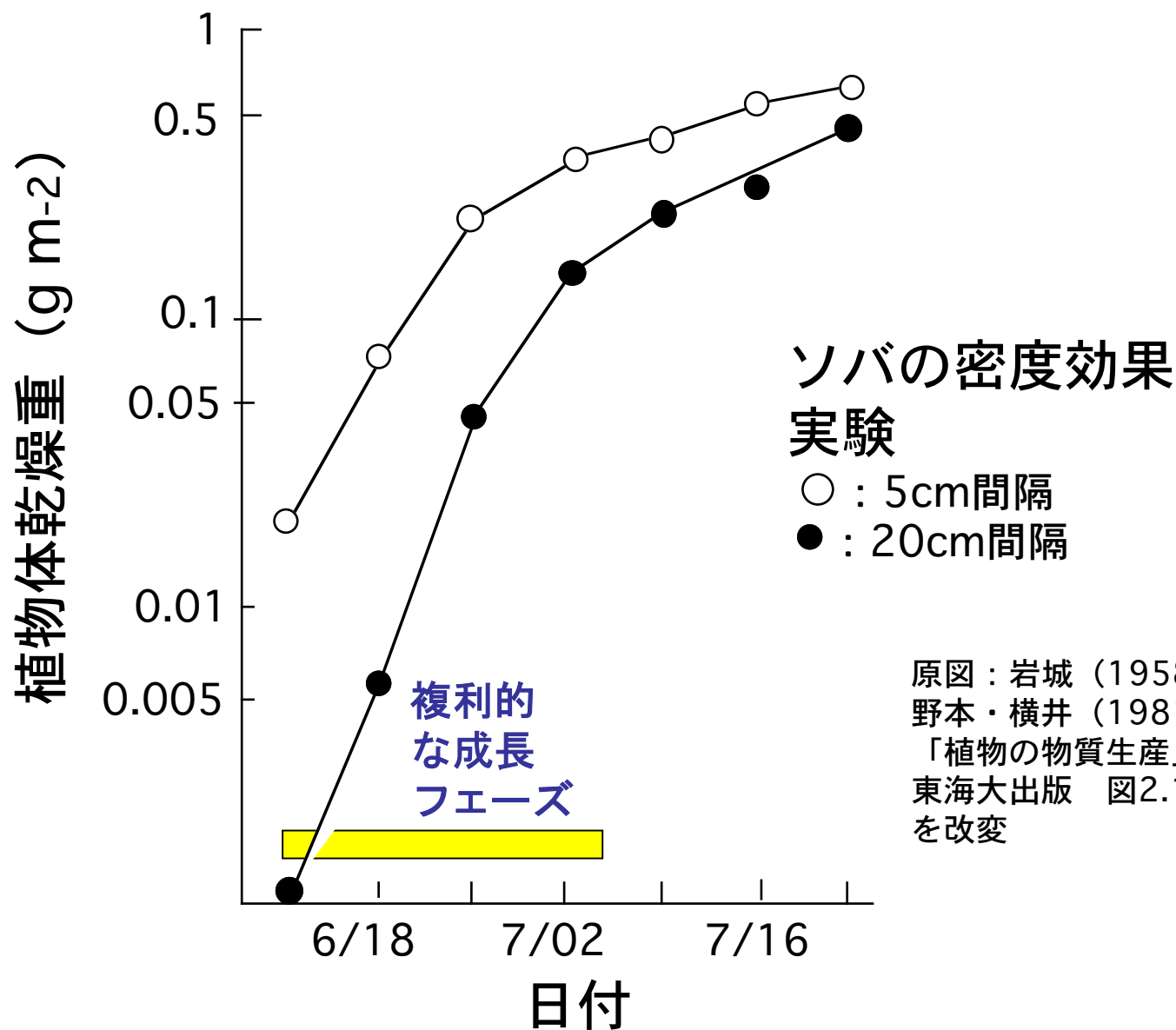


図2-2

「相対成長速度：R G R → 何倍になっているか？」

Relative Growth Rate

$$R G R = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

サイズWの時の個体の
相対成長速度

$$R G R = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt}$$

実験上の近似

$$\frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

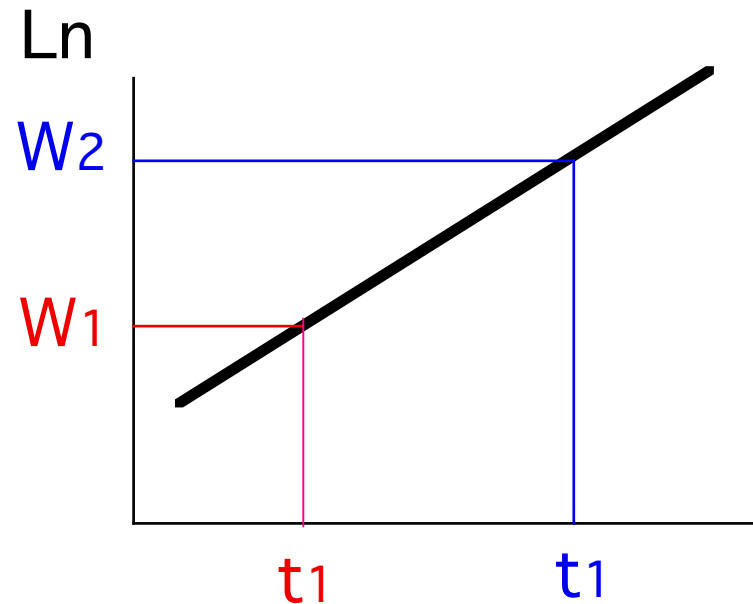


図2-3

「成長解析 → どのパラメータが成長に効いているのか？」

$$RGR = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt}$$

$$= \frac{1}{A} \frac{dW}{dt} \cdot \frac{A}{W}$$

NAR LAR

W : 個体乾重
 A : 個体葉面積
 M_L : 葉乾燥重
 M_R : 根乾燥重

(Net Assimilation Rate)

(Leaf Area Ratio)

$$= \frac{1}{A} \frac{dW}{dt} \cdot \frac{A}{M_L} \cdot \frac{M_L}{W}$$

SLA LMR (Leaf Mass Ratio)

(Specific Leaf Area)

$$= \frac{1}{A} \frac{dW}{dt} \cdot \frac{A}{M_L} \cdot \frac{M_R}{W} \cdot \frac{M_L}{M_R}$$

(Root Mass Ratio)

← さらに分解可能

「成長解析の例：RGR = NAR · SLA · LMR」

$$\frac{1}{W} \frac{dW}{dt} = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt} \cdot \frac{A}{M_L} \cdot \frac{M_L}{W}$$



PARを93%カット
(相対照度7%区)



PARを50%カット
(相対照度50%区)

「成長解析の例：RGR = NAR · LMR · SLA」

常緑広葉樹14種の稚樹の成長

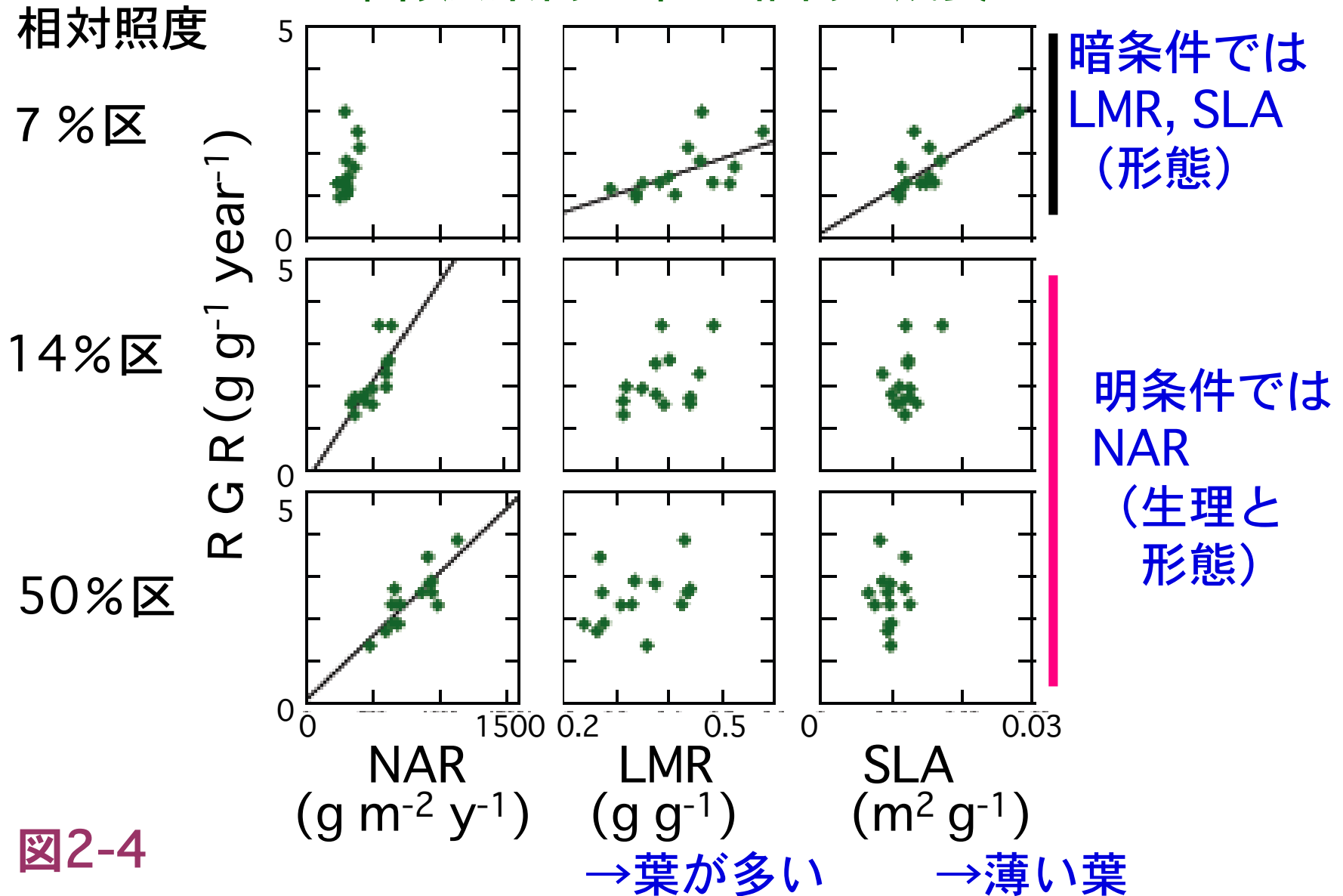


図2-4

「光合成系 F - 非光合成系 C」

$$RGR = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt} = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt} \cdot \frac{A}{M_L} \cdot \frac{M_L}{W}$$

NAR
SLA
LMR

生理?
形態
形態

$$\frac{dW}{dt} = F(P_g - R_F) - C \cdot R_C$$

$$\frac{1}{F} \frac{dW}{dt} = (P_g - R_F) - \frac{C}{F} \cdot R_C$$

NAR_m

P_g: 総光合成速度
R: 呼吸速度
F: 光合成系重量(=M_L)
C: 非光合成系重量(=W-M_L)

→ NAR自体にも
 形態パラメータ
 (C/F比)
 が入っている

「植物の呼吸と成長」

NAR_m

$$\frac{1}{F} \frac{dW}{dt} = F (P_g - \underline{R_F}) - C \cdot \underline{R_C} \quad R : \text{呼吸}$$

「維持呼吸・構成呼吸」

McCree (1970)

シロツメグサ

$$R = k P_g + c W$$

R : 呼吸速度
 P_g : 総光合成速度
 W : 植物重量

k (定数) : 構成呼吸
0.25

→ 光合成の25%を消費

c (定数) : 維持呼吸
0.015 day⁻¹

→ 自分の重量の1.5%消費

「呼吸の温度依存特性」

植物の（維持）呼吸：温度上昇に対し指数的に上昇

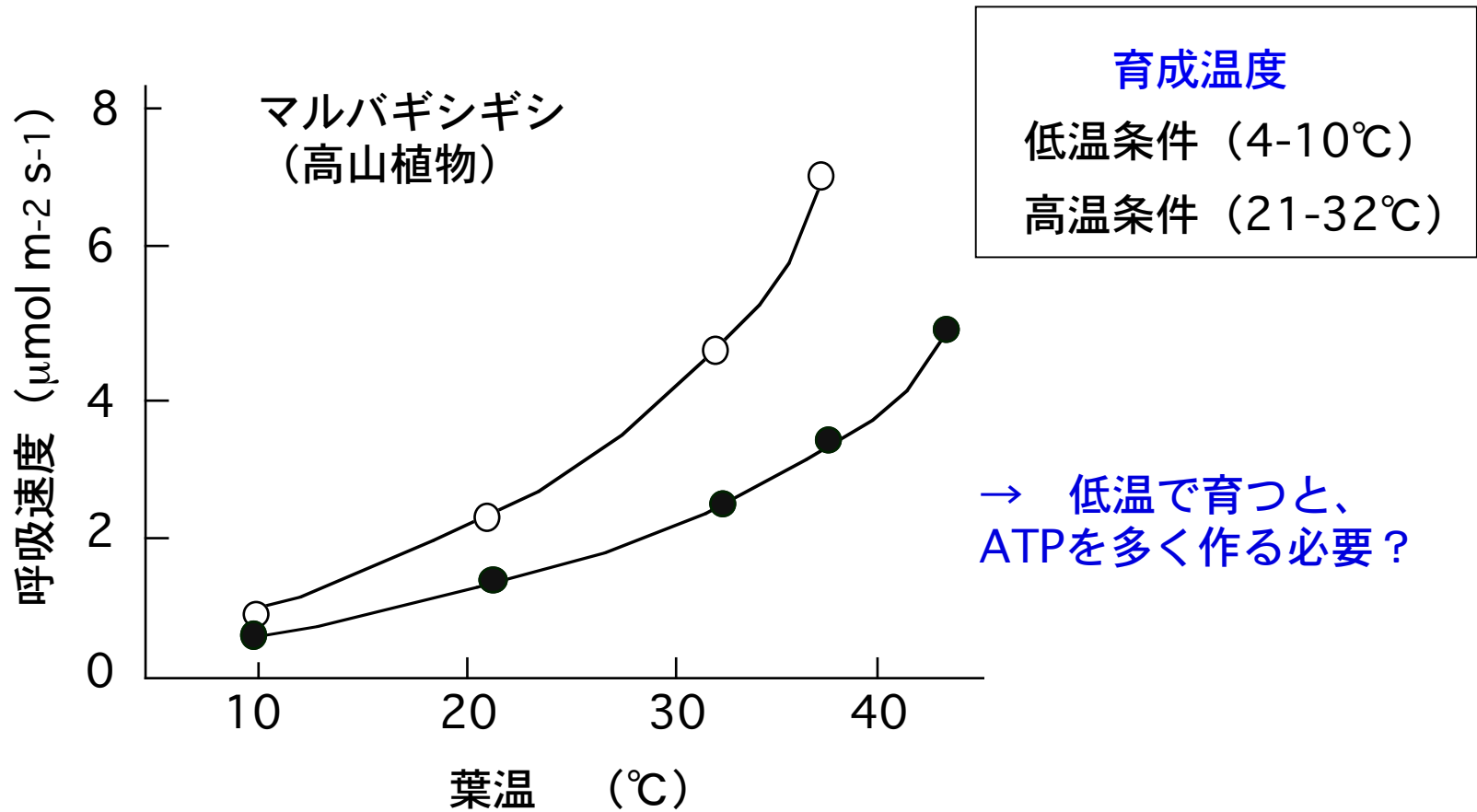


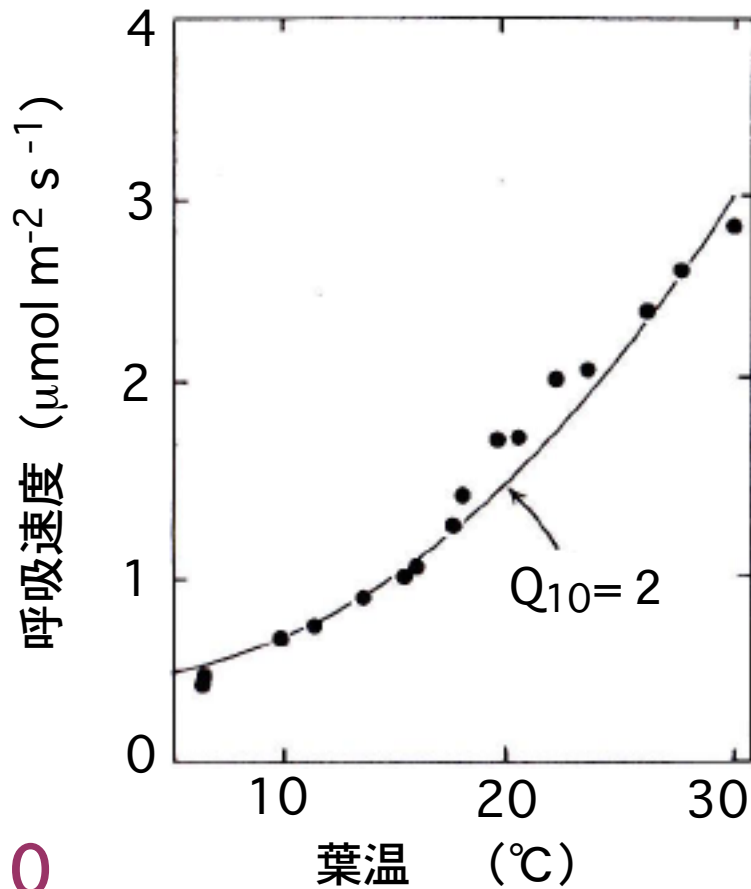
図2-9

Billings and Mooney (1968) を改変

「呼吸 : Q_{10} 」

Q_{10} : 温度が 10°C 上昇したら何倍になるか？

だいたい2ぐらい



$$R = R_0 \underline{Q_{10}}^{(T/10)}$$

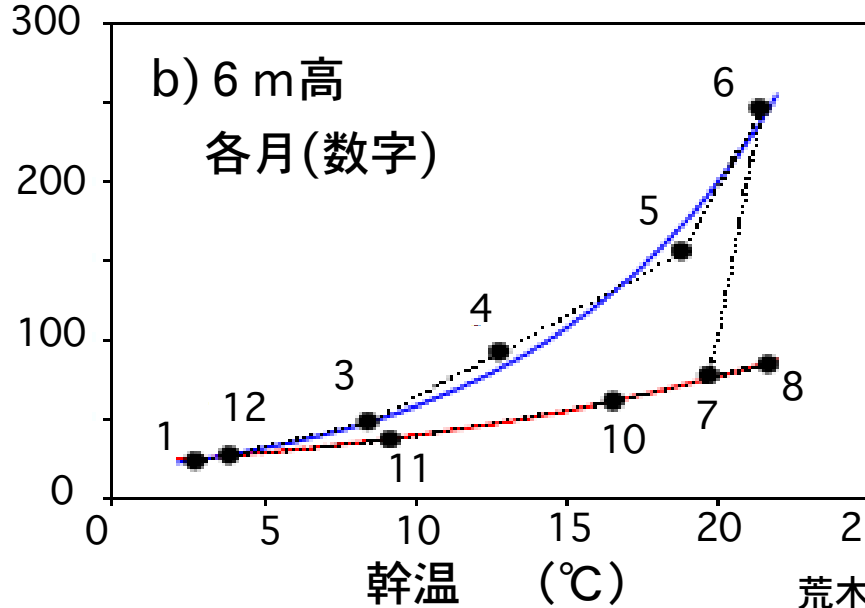
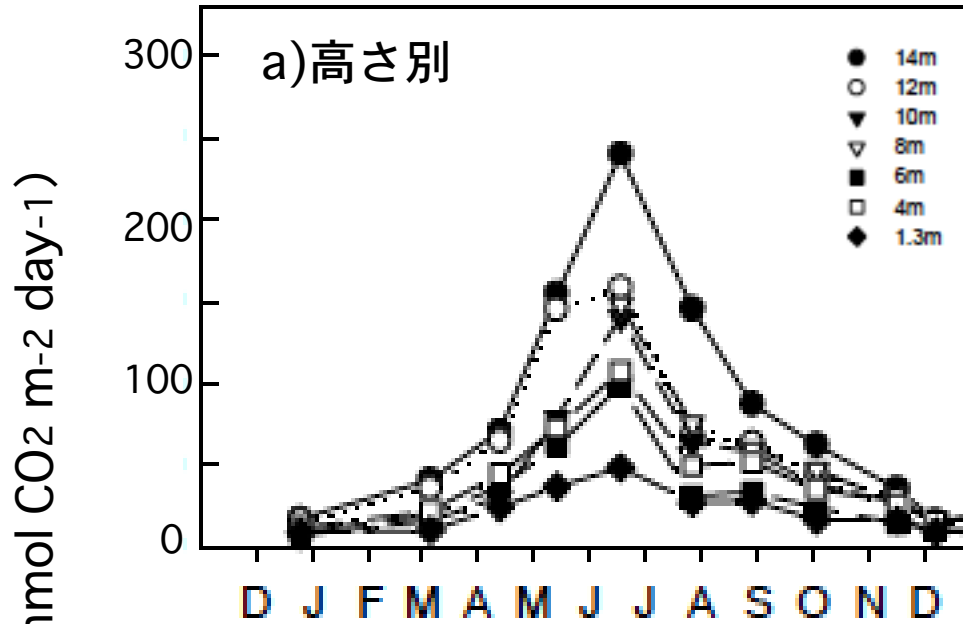
T : 温度
 R_0 : 定数

Jones (1981) 「Plants and Microclimate」
Cambridge Fig. 9.6を改変

図2-10

「樹木の幹の呼吸の例」

50歳齡ヒノキ



— 高成長期
— 低成長期

→ 幹の肥大成長期の
構成呼吸は維持呼吸
の3倍にもなりうる

図2-11

荒木未発表データ

「植物の生長（成長）モデル」

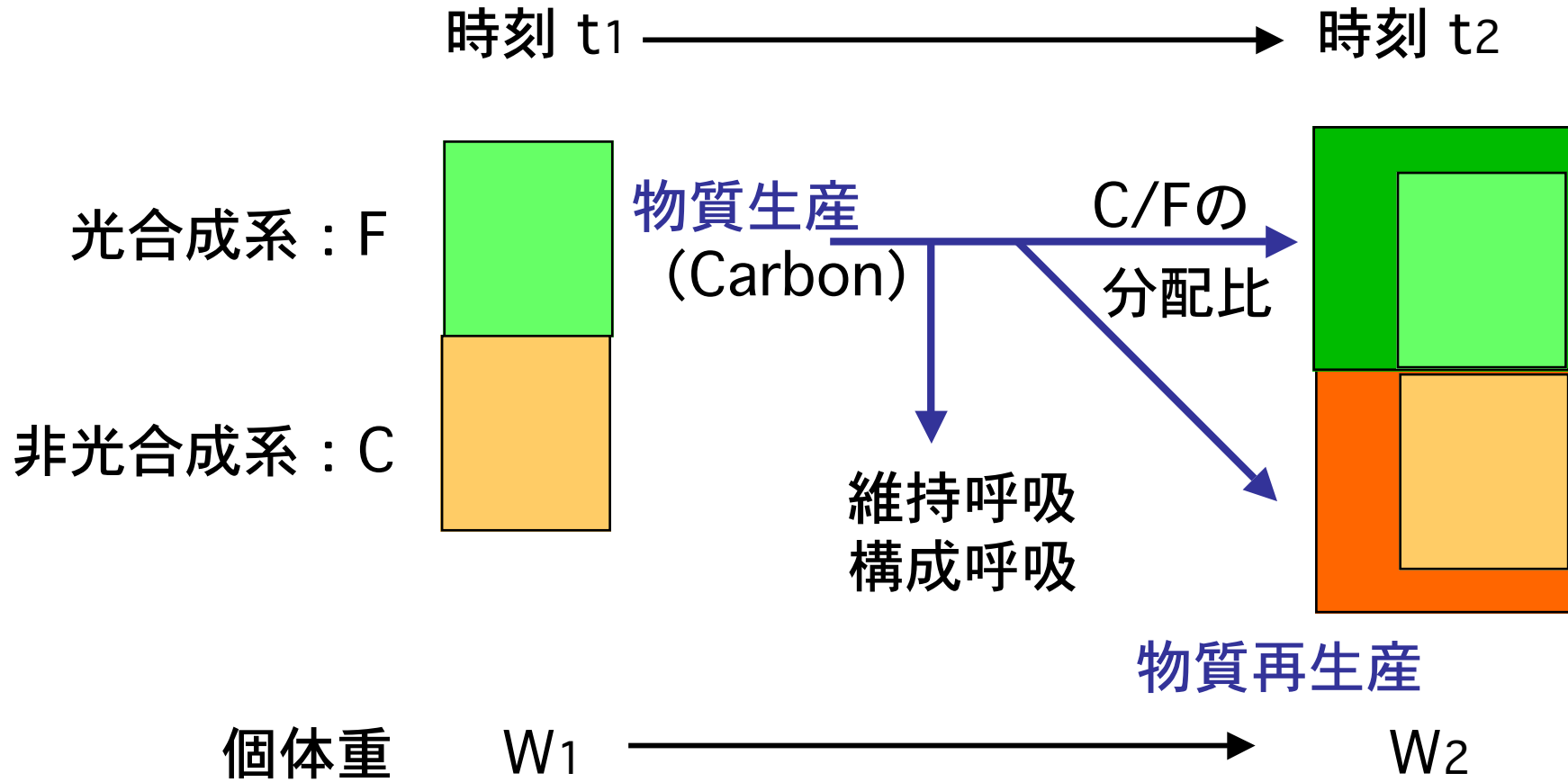
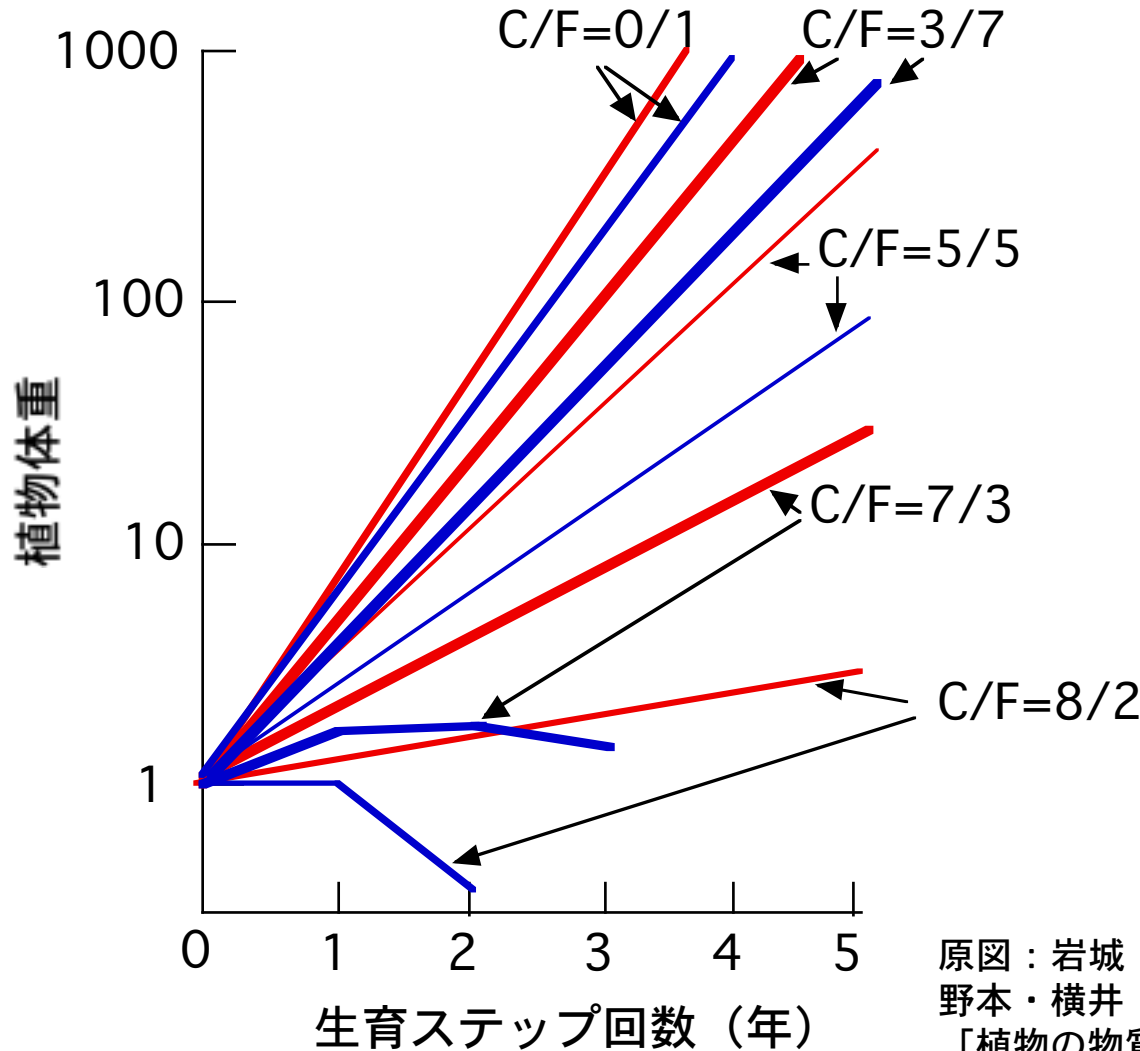


図2-12

「C/F比が個体成長に及ぼす影響のモデル」

C/Fのみを変えた成長シミュレーションの結果



1) C/Fが小さい、すなわち葉に物質分配するほど成長には有利

2) 落葉樹 (青線) は常緑樹 (赤線) より効率悪い

↓
実際の植物は？

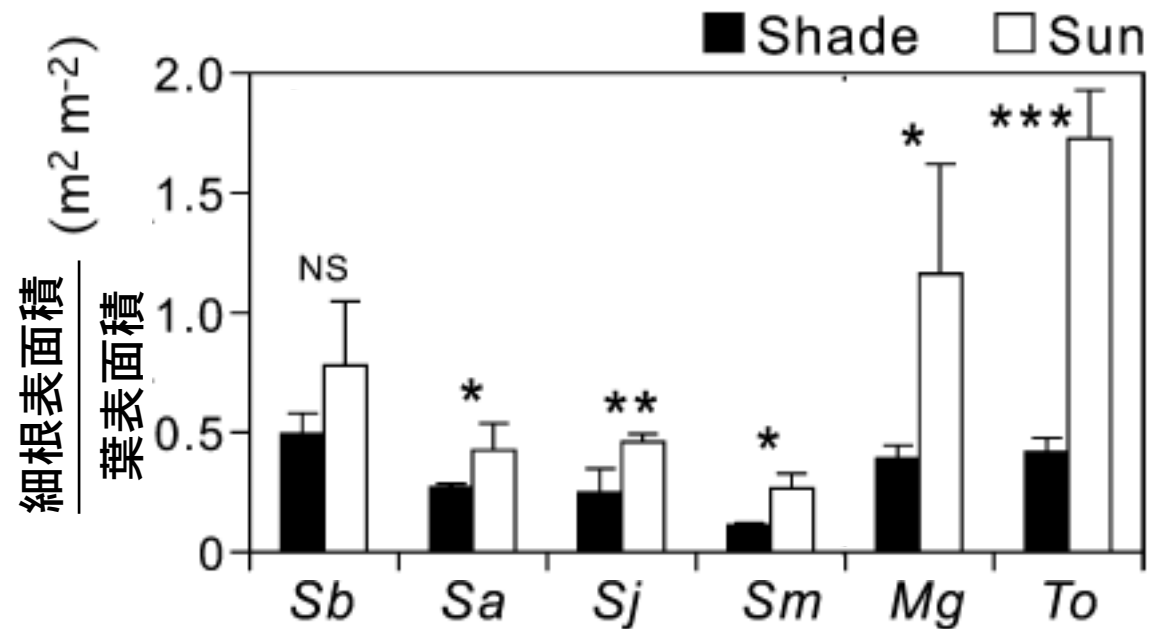
図2-13

原図：岩城 (1958)
野本・横井 (1981)
「植物の物質生産」
東海大出版
図2.6を改変

「実際の植物はC/F比を0にはできない」

- 1) 地上部での資源（光）をめぐる競争—**茎へのC投資**
- 2) 身体を堅く（葉・幹）—**非光合成器官へ**
- 3) 地下部での資源（水・栄養塩）をめぐる競争—**根へ**
- 4) 繁殖・貯蔵—**非光合成器官へ**

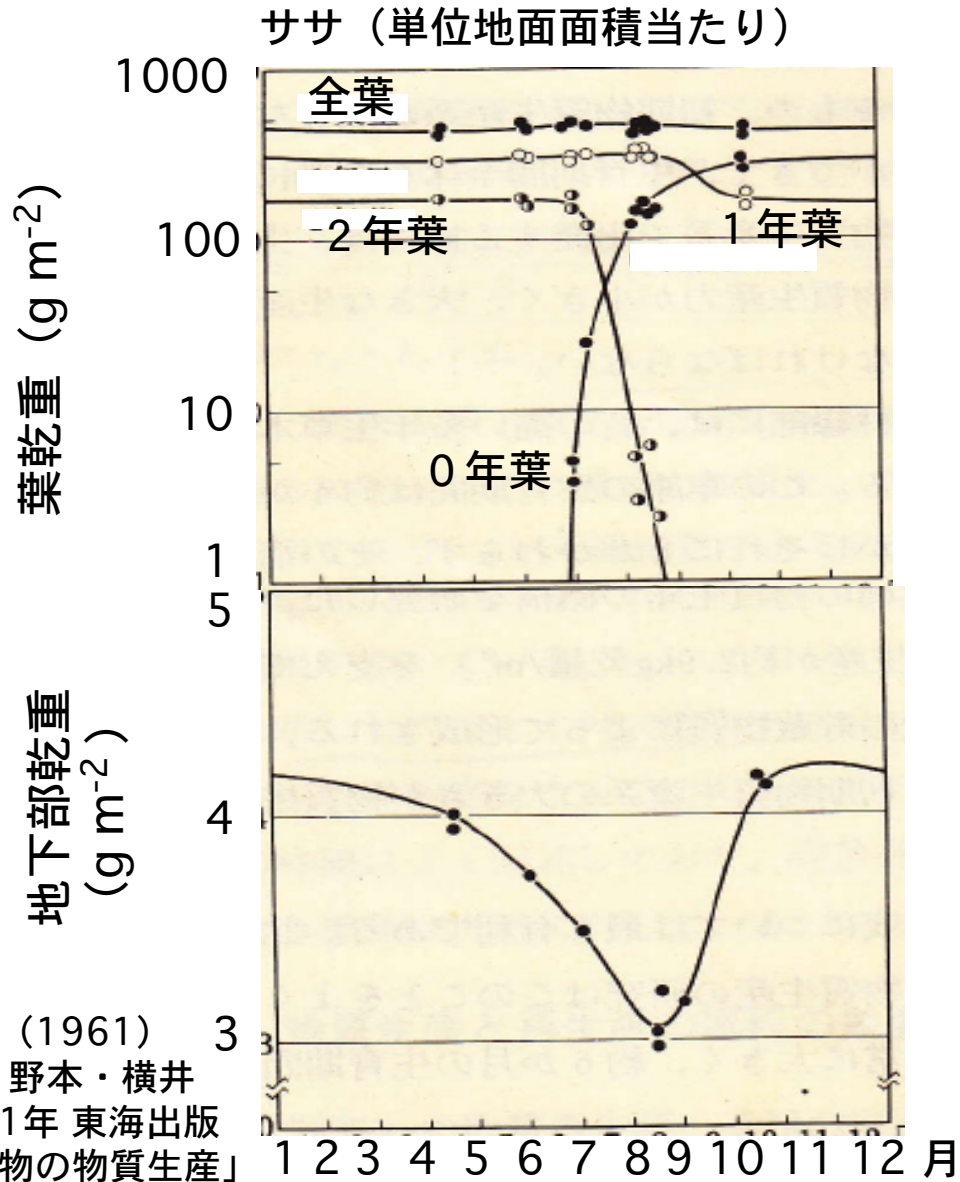
熱帯性樹木の稚樹の明・暗条件下での物質分配の例



Shimizu et al.
Oecologia
(2005)

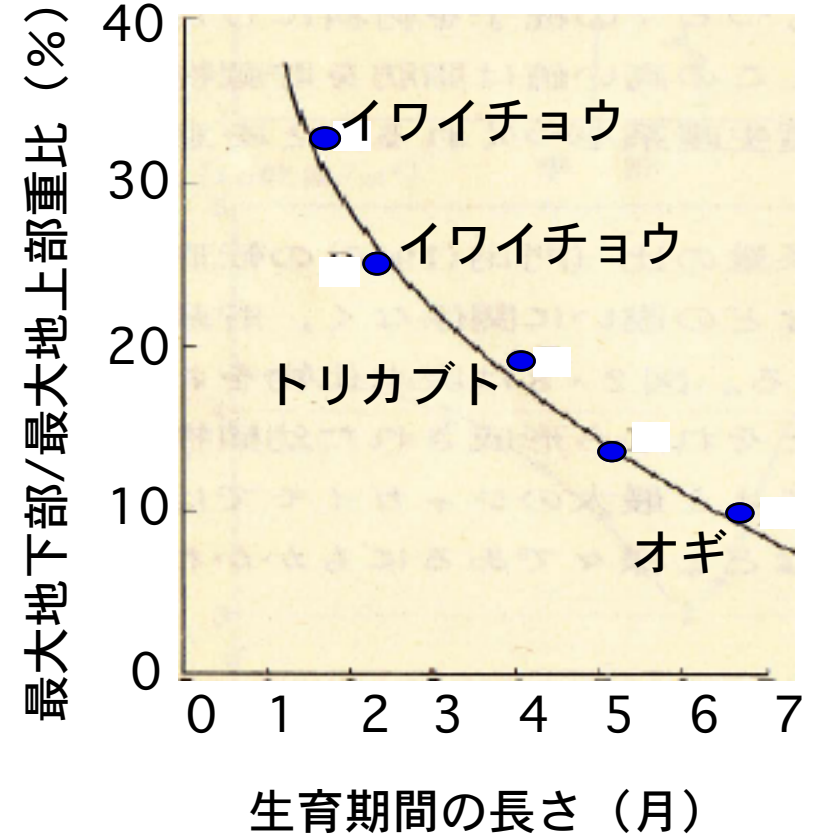
図2-14

「地下貯蔵物質の役割」



大島 (1961)
原図 野本・横井
1981年 東海出版
「植物の物質生産」
図2.7

図2-15,16

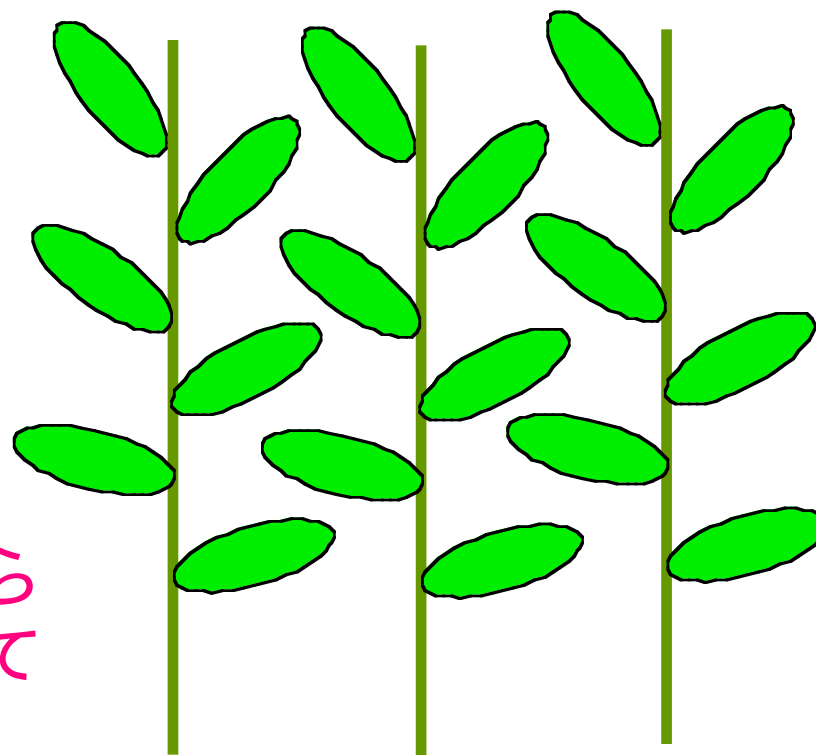


横井 (1967) 原図、
野本・横井 (1981)
「植物の物質生産」 図2.9

「個体成長モデルから群落光合成モデルへ」

1) 地上部での光
資源をめぐる競争

→ 光資源の利用面から
植物をモデルとして
とらえる



植物個体が、最適に光を
受け取るにはどのように
しているのか？

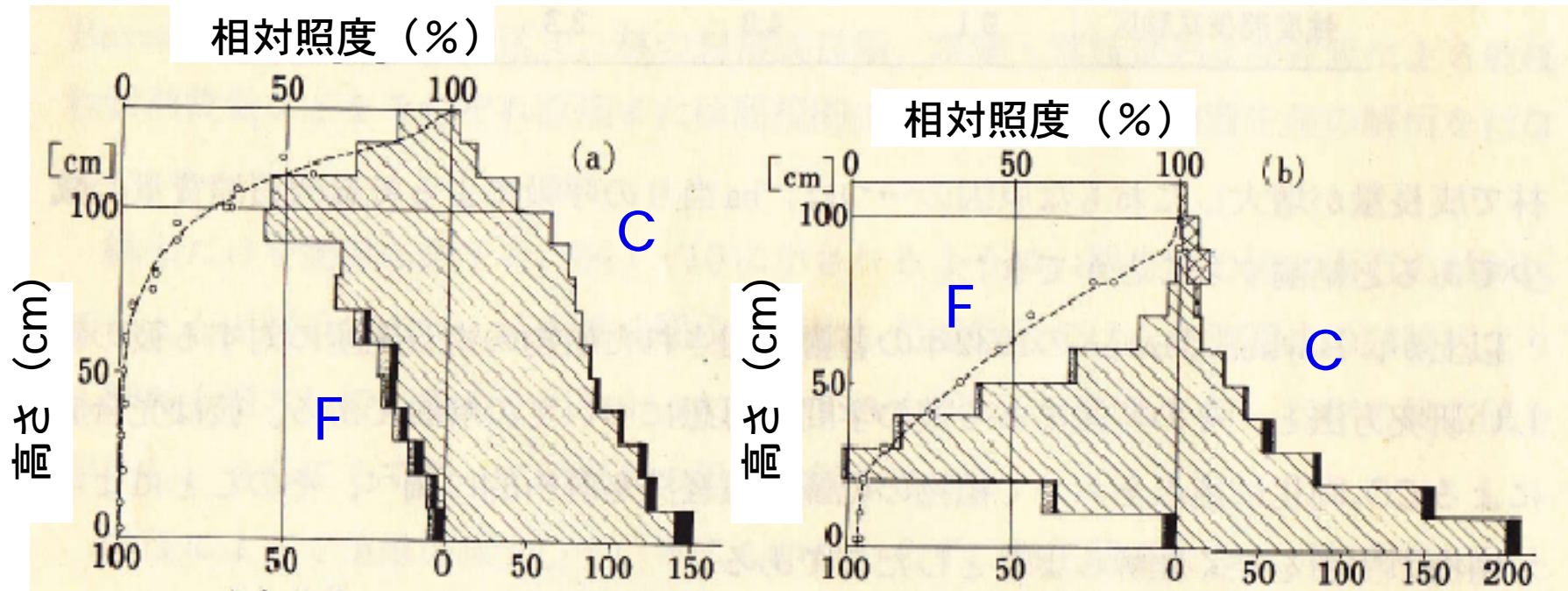
図2-17

Monsi and Saeki (1953) 群落光合成モデル

「植物群落の生産構造図」

a)アカザ群落 (広葉草本)

b)チカラシバ群落 (イネ科草本群落)



単位面積当たり、単位高さ当たりの、植物乾燥重 ($g\ 10cm^{-1}\ 0.25m^{-2}$)

F: 光合成器官、C: 非光合成器官

図2-18

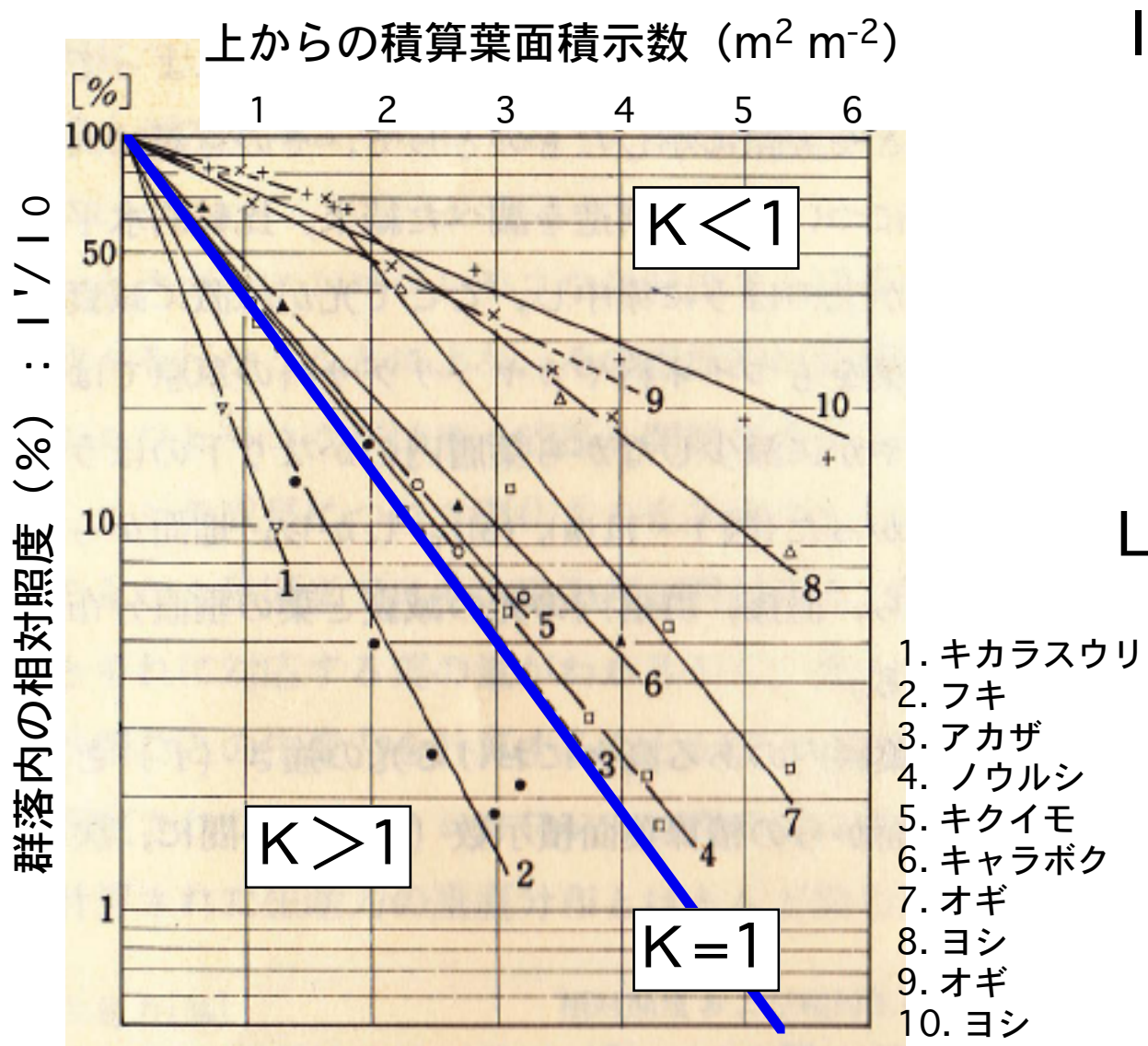
野本・横井「植物の物質生産」(1981) 東海大出版会 図1.11より

「ブナ・イヌブナ成木での生産構造図作成風景」



図2-19

「植物群落内での光の減衰」



$$I' = I_0 e^{-KF'}$$

I' : ある高さのPPFD

I₀ : 葉群上のPPFD

F' : ある高さ地点の上からの積算葉面積指数

K : 吸光係数

$$\text{Log}(I'/I_0) = -KF'$$

Beer-Lambert の式

→ 均質溶媒の仮定

→ 曇った日の散光成分で測る必要

イネ科はKが小さい

→ 光が群落内部へ到達

図2-20

「葉群構造と吸光係数 (K)」

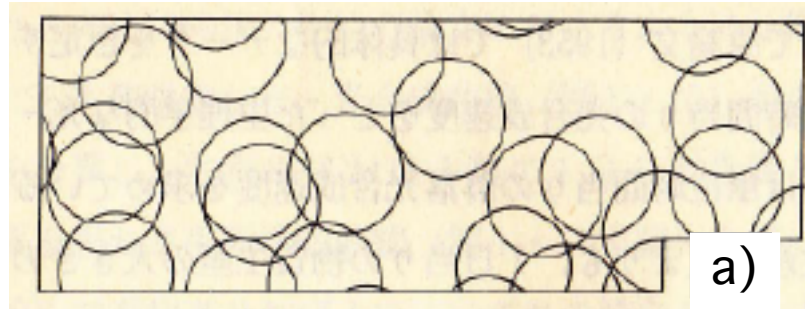
$$I' = I_0 e^{-KF'}$$

$$\log(I'/I_0) = -KF'$$

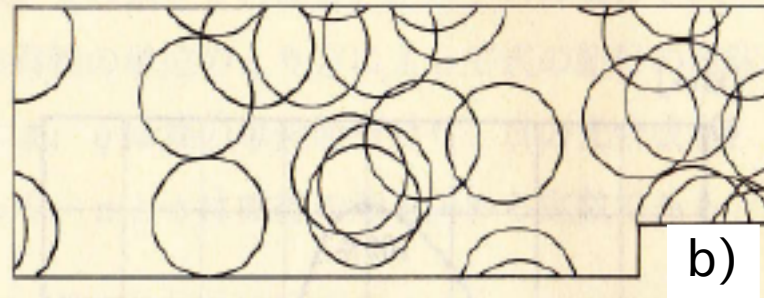
葉が重ならず
光を受け止める

$$K > 1$$

例) 林床植物



配列分布
葉が水平の時

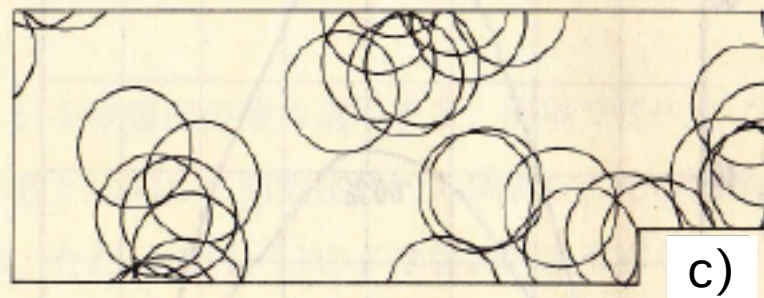


ランダム分布

光が葉群内部
まで透過

$$K < 1$$

例) イネ科



集中分布
葉が立ってる時

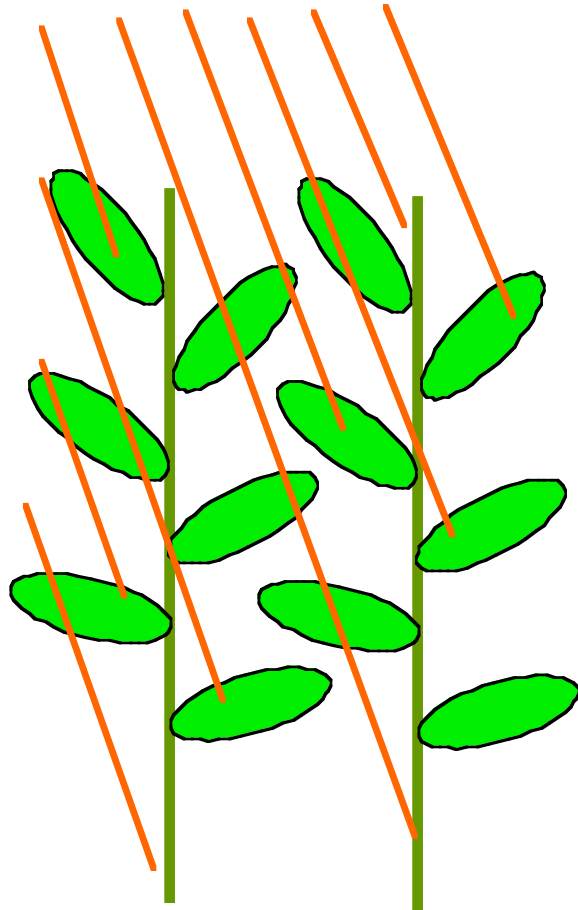
図2-21

Wilson (1960) 原図
野本・横井 (1981) 図1.14より

「群落光合成のモデル化」

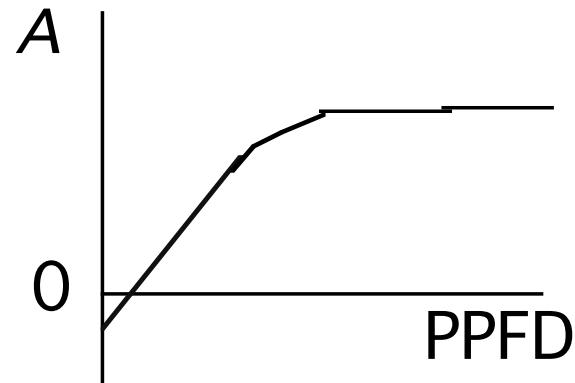
$$I' = I_0 e^{-KF'}$$

光



葉群内の光の減衰

1) 個葉の光—光合成曲線



A : 葉面積あたりの光合成速度
($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

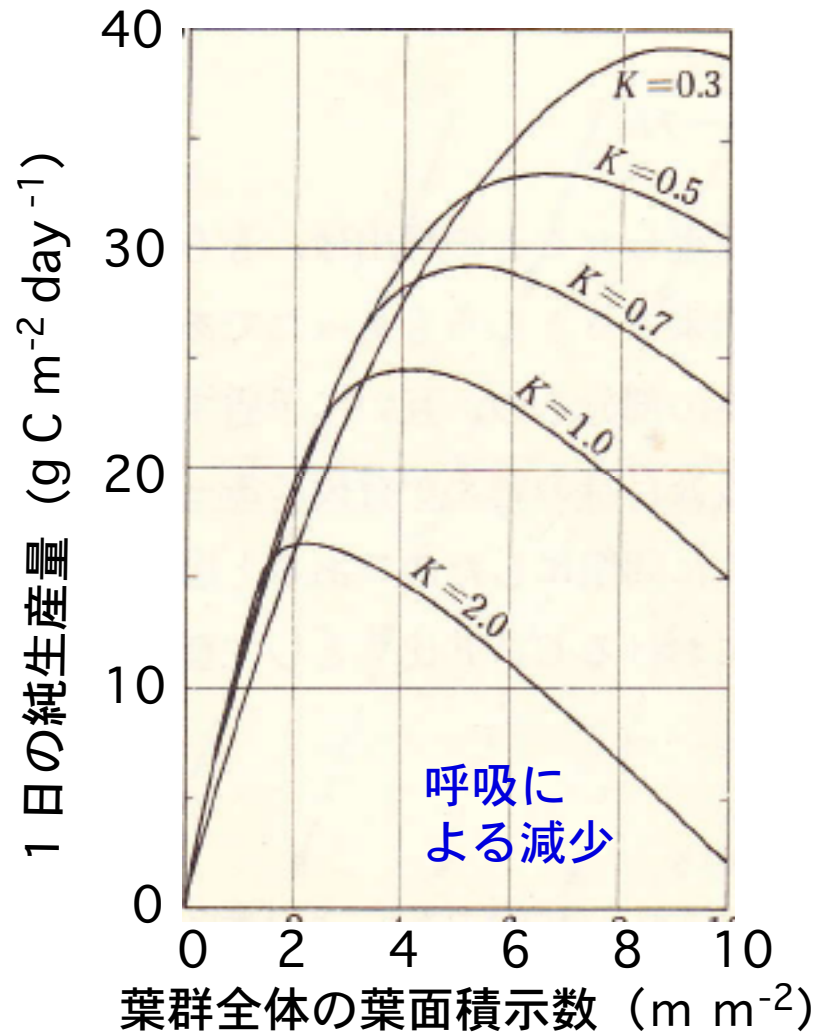
PPFD: 光合成有効放射の強度
($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

2) 茎の呼吸

群落の総
光合成量
を推定

図2-22

「最適葉面積指数の概念」



異なったKで、葉面積示数を変化させて、葉群全体の1日の光合成量を推定

Kが小さい、すなわち葉が立って、群落内で光が透過し易い植物は、葉群をたくさん持てるという予測。

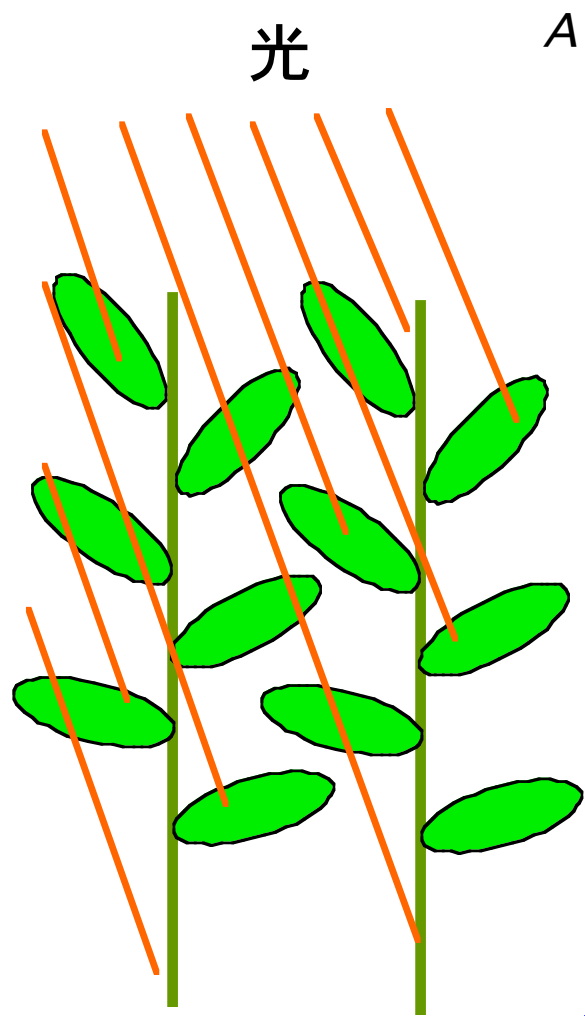
→ 具体例

- 1) 明るい場所のイネ科草原
- 2) 暗い林床植物
- 3) イネの品種改良

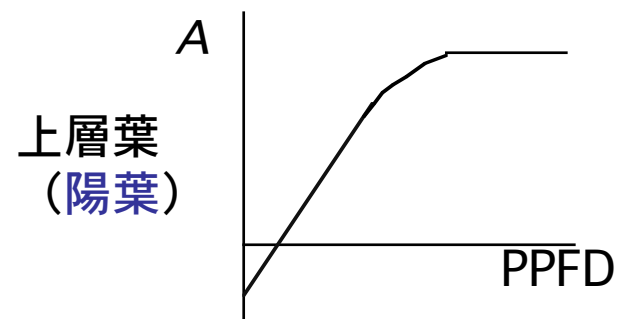
図2-23

野本・横井 (1981) 図1.19より

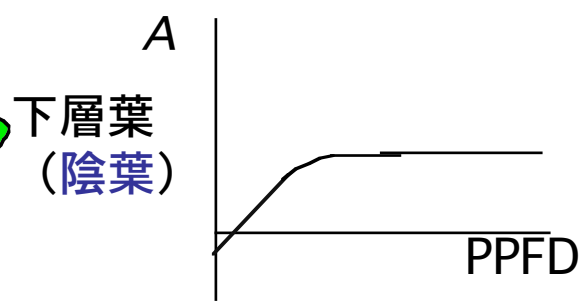
「陽葉—陰葉の分化」



A : 葉面積あたりの光合成速度
($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)



高い光合成能—高い呼吸



低い光合成能—低い呼吸

ブナの葉の切片

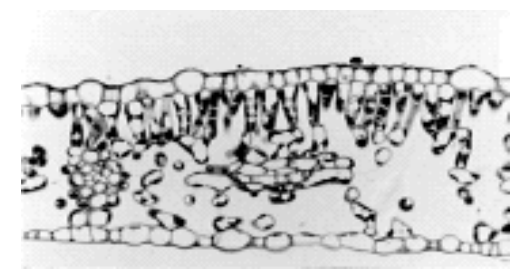
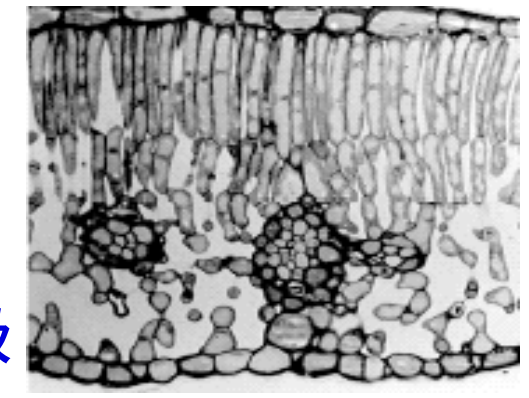
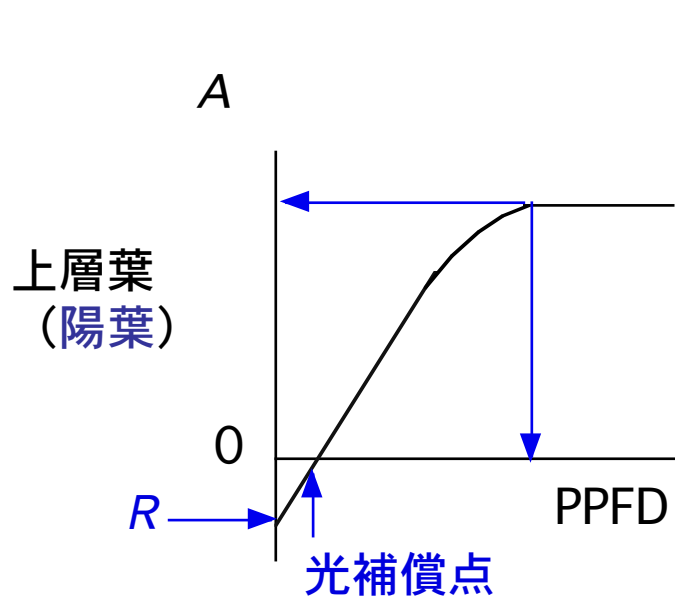


図2-24

「陽葉－陰葉の特性」



厚い葉

葉面積当たりの高い A_{max} と R

低い N 当たりの A_{max}

(N をルビスコ以外にも分配)

光利用効率は同じ

高い光補償点

高い C/N 比

葉重当たりの

低い N, P 濃度

薄い葉

葉面積当たりの低い

A_{max} と R

高い N 当たりの A_{max}

(N をルビスコへ分配)

光利用効率は同じ

低い光補償点

低い C/N 比

葉重当たりの

高い N, P 濃度

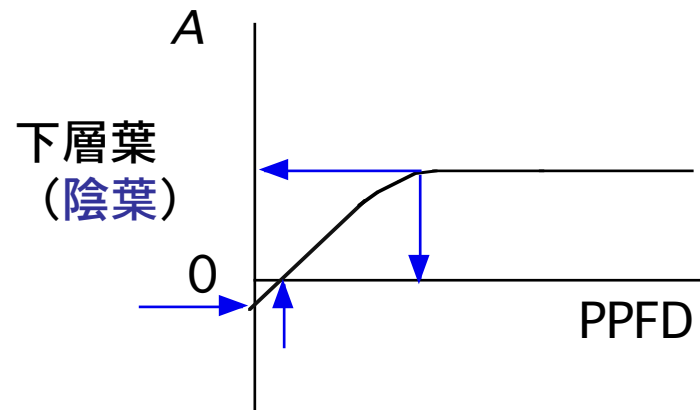


図2-25

「陽葉－陰葉の分化」 → 個体の総光合成量を高める効果

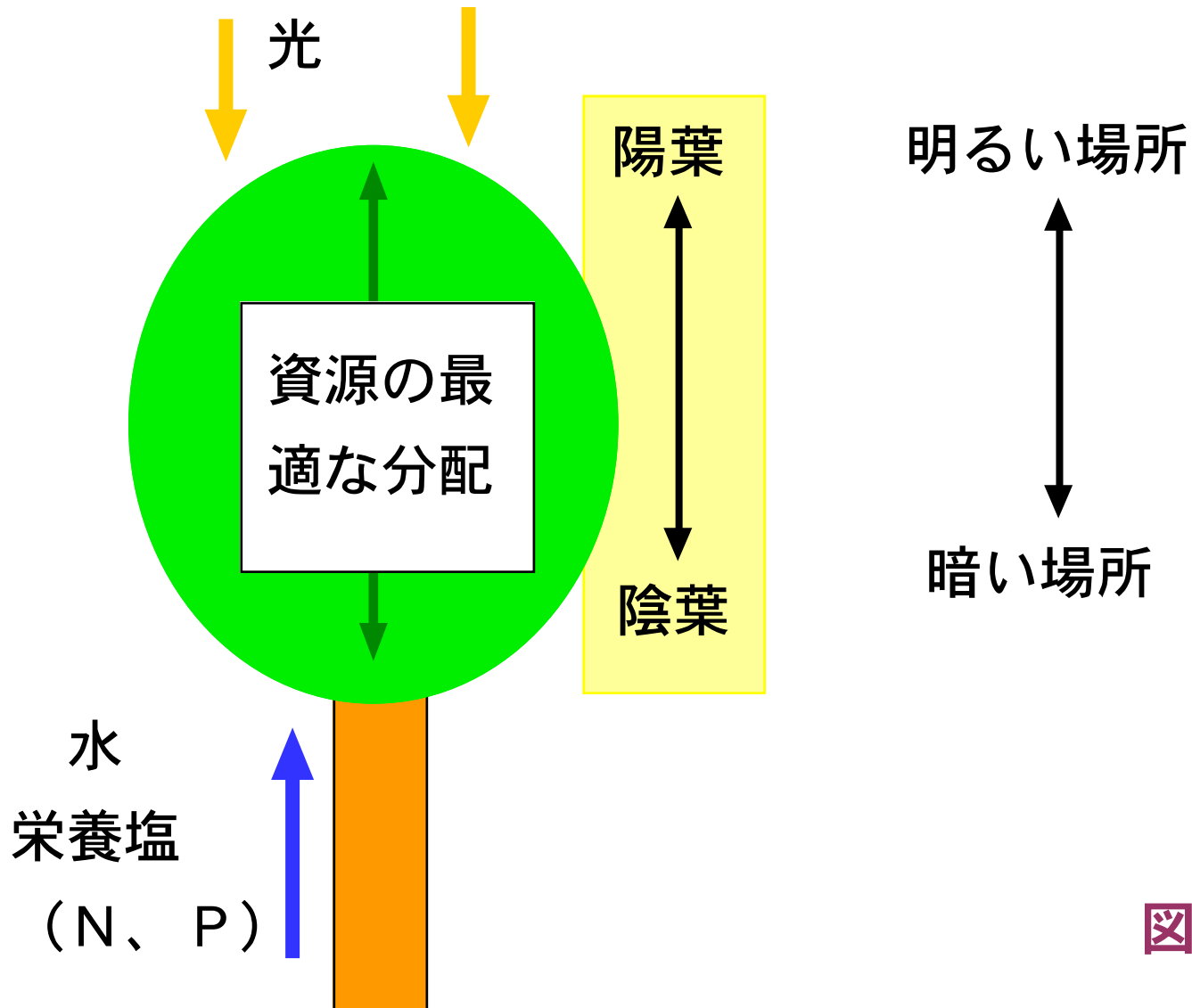


図2-26

「群落全体の物質生産力の評価（測定法）」

1) 個葉の場合

$$P_n = P_g - R$$

P_n : 純光合成速度

P_g : 総光合成速度

R : 呼吸速度

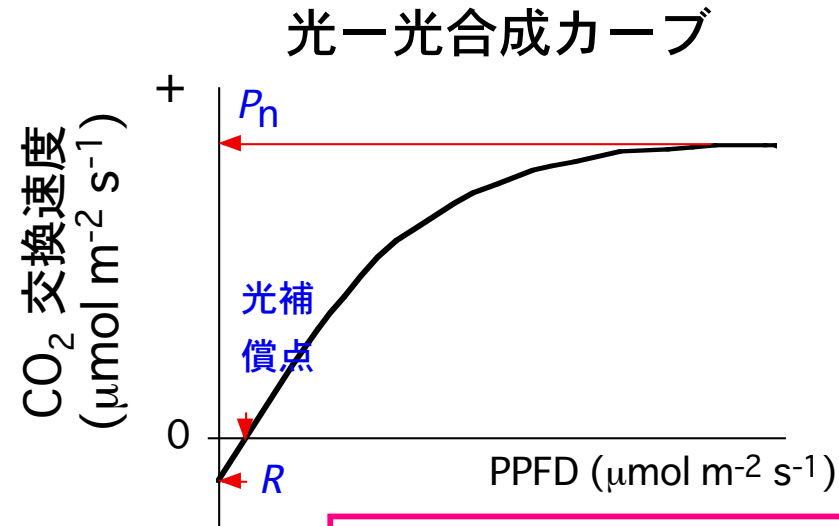


図2-27

単位葉面積当たり
単位時間当たり

2) 群落の場合

$$\text{純一次生産量} = \text{総生産量} - \text{呼吸量}$$

純一次生産量：
Net Primary Production (NPP)

単位地面面積当たり
単位時間当たり

「純一次生產：Net Primary Production (NPP)」

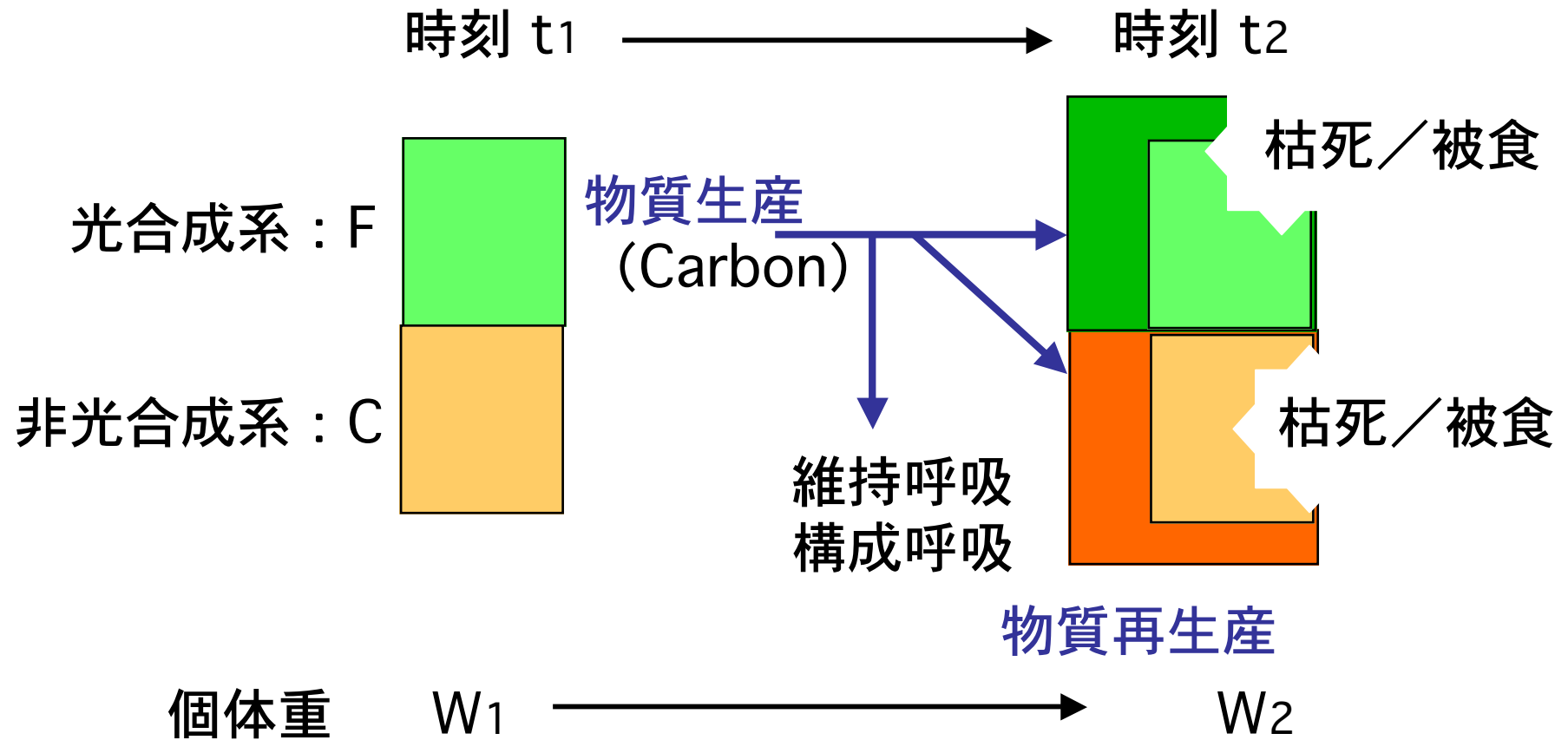


圖2-28

$$\begin{aligned} \text{總生產} &= \text{純一次生產} + \text{呼吸} \\ &= \text{生長量} + \text{枯死・被食} + \text{呼吸} \end{aligned}$$

「群落の純一次生産：Net Primary Production (NPP)」

純一次生産量 = 生長量 + 枯死・被食

単位：単位土地面積あたり、単位時間あたりに
生産された有機物 (C) の量 (速度)

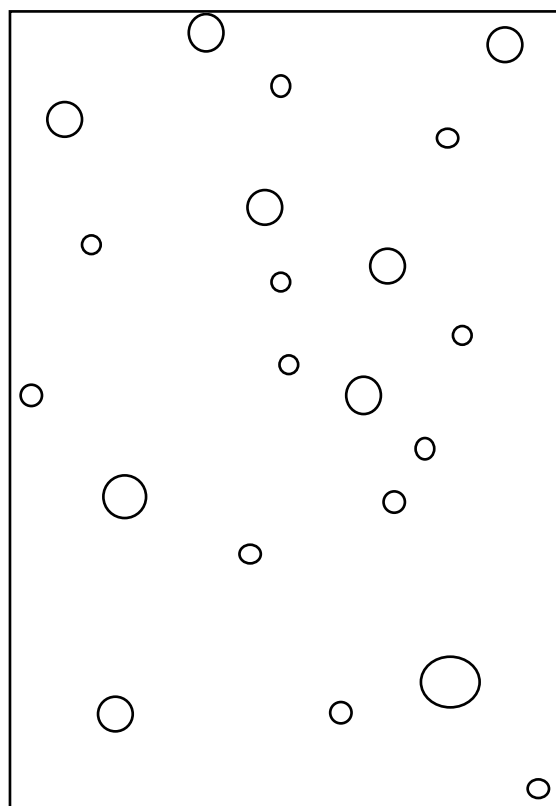
- 生態系の物質循環の基点の同化産物量
- 生態系の生産力 (productivity) の指標

- 1) 物質循環や森林の炭素固定能
- 2) 食料生産、牧草生産
- 3) 木材生産
などの指標

「森林の純一次生産量 (NPP) の測定法」

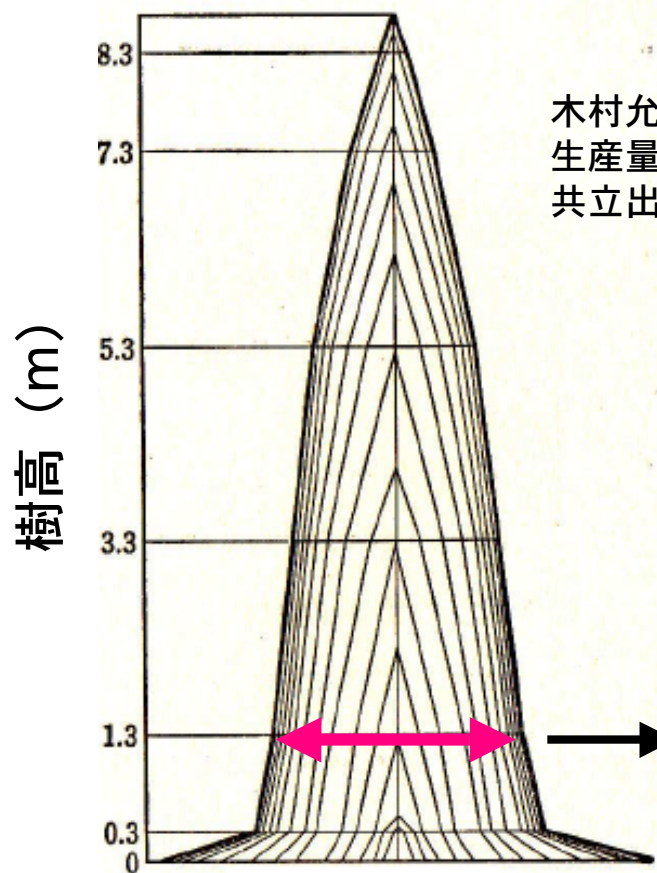
→ 生物学実習B(野外調査法 5/30-6/02)で

- 1) コードラート
樹種の同定
サイズ測定



プロット内での樹木分布

- 2) 1.3m高で直径測定
Diameter of Breast
Height (DBH)



木村允 著「陸上植物群落の
生産量測定法」昭和51年
共立出版 図3.10

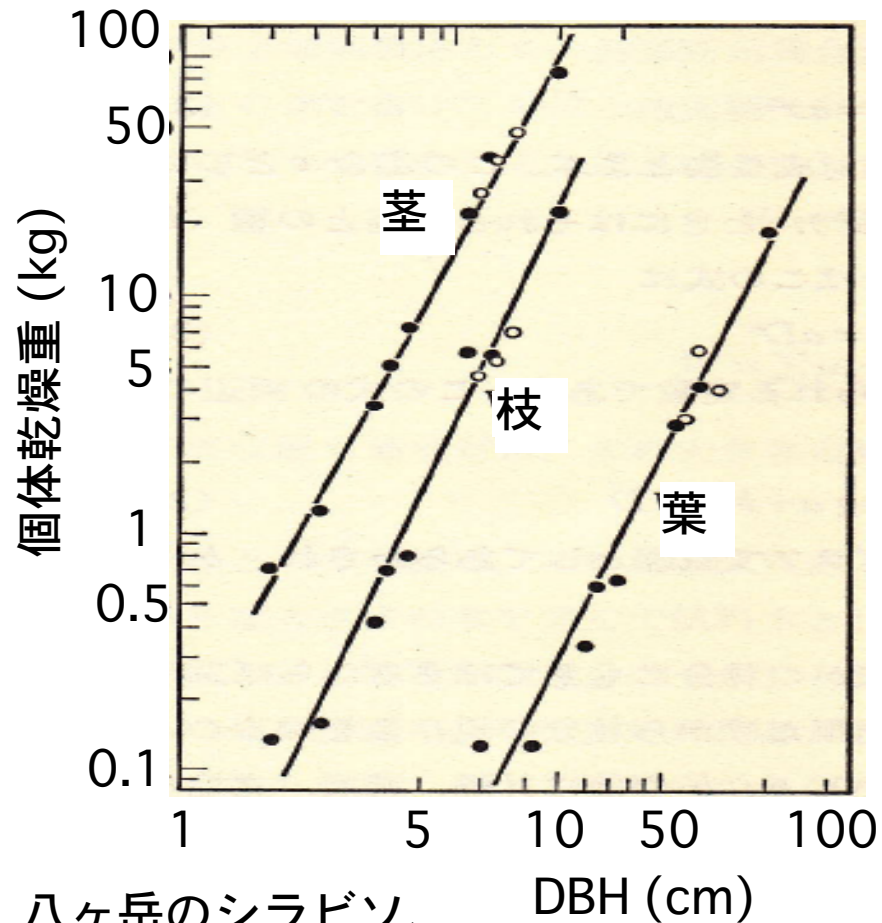
毎年の直径
増加分測定
から、個体
のバイオマ
スの年増加
量を推定

図2-29

「森林の純一次生産量 (NPP) の測定法」

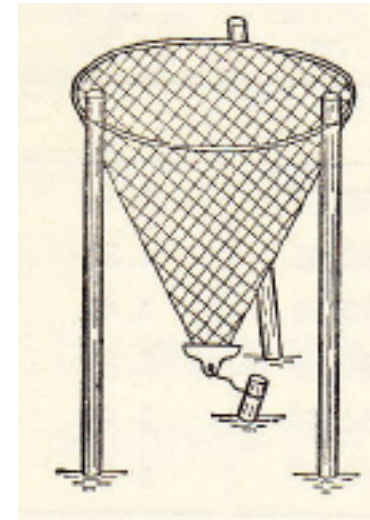
単位地面面積あたり、単位時間 (年) あたり

3) DBHと個体重の関係



ハヶ岳のシラビソ、
オオシラビソの例

4) リタートラップで、 リターと糞の回収



5) 細根のターンオーバー が難しい →ライゾトロンなどの工夫

木村允 著「陸上植物群落の
生産量測定法」昭和51年
共立出版 図3.8、3.14

図2-30

「地球の年間一次生産量」

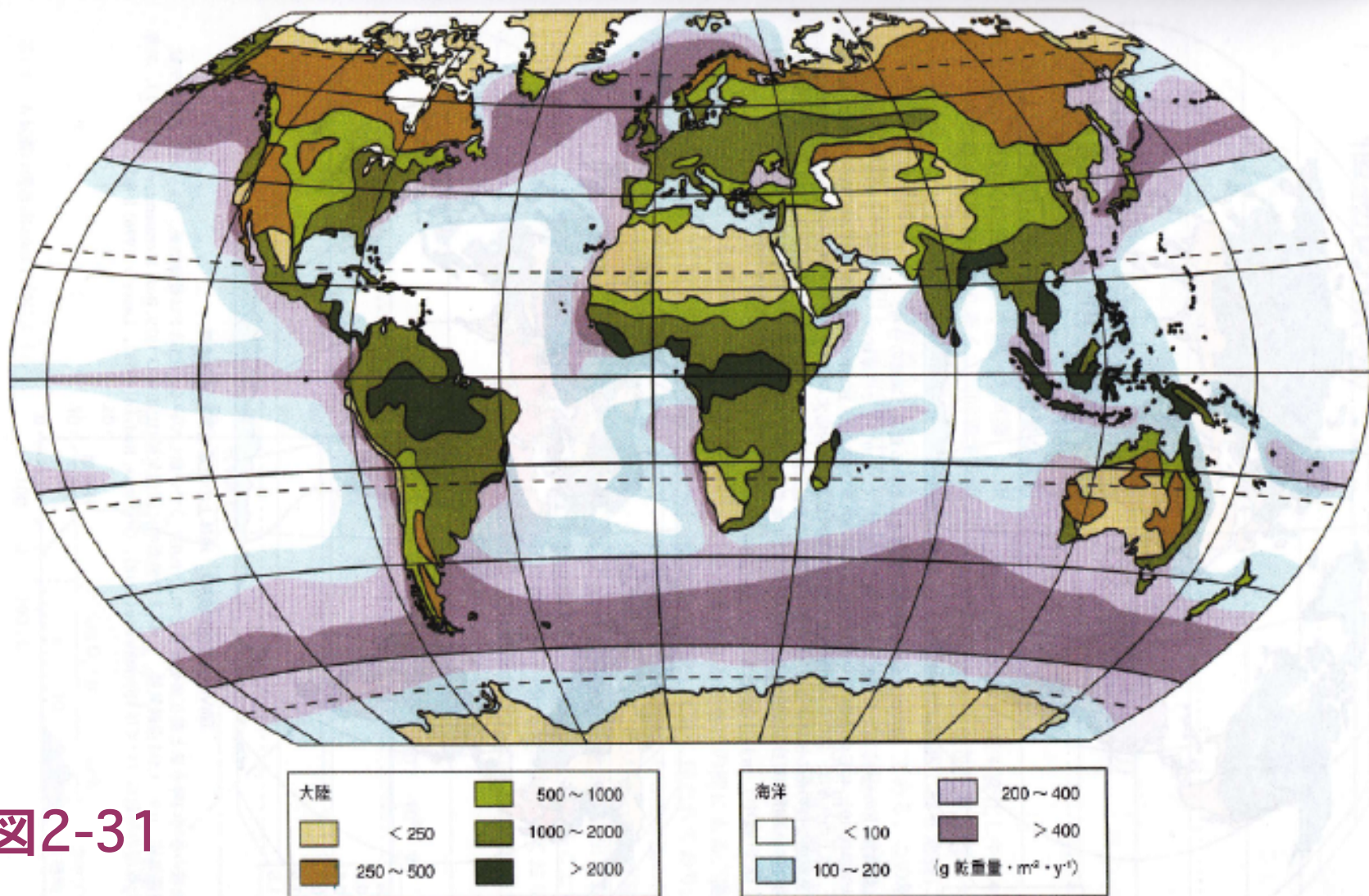


図2-31

単位土地面積 (m²) あたりの g 乾重量

Larcher (2001) 原図
佐伯・館野 監訳 (2004) 図III より

「一次生産量のエネルギー/ PARエネルギー」 (エネルギー返還した物質生産の光利用効率)

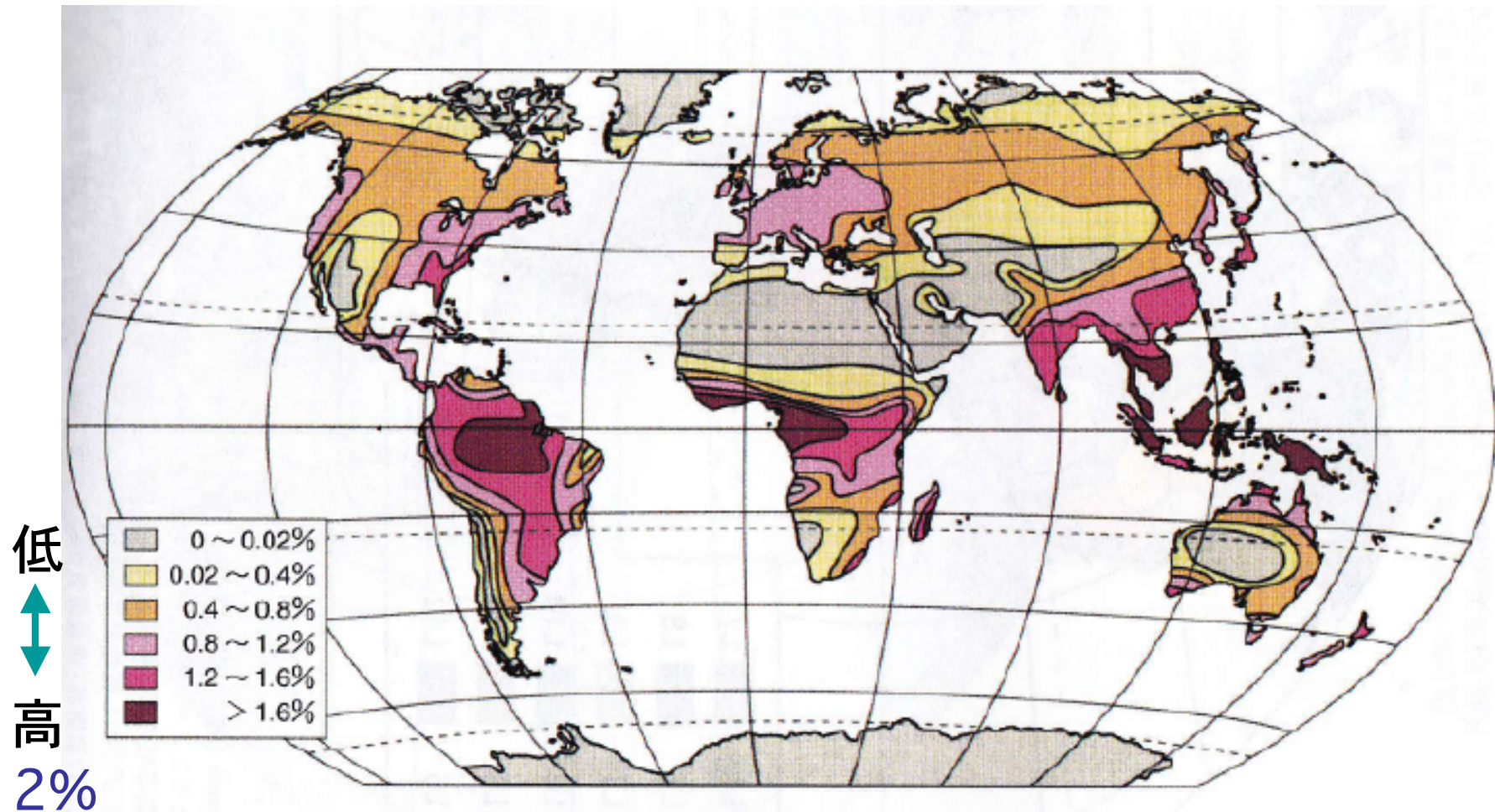


図2-32

陸域生態系は、最大でも光エネルギーの数%しか使えてない！

Larcher (2001) 原図
佐伯・舘野 監訳 (2004)
「植物生態生理学」シュプリンガー
図1b より

「純一次生産の光エネルギー利用効率」



- 1) このギブスのエネルギー差(ΔG)は 490kJ mol^{-1}
- 2) CO_2 1 mol固定に最大効率でも 8 molの光量子が必要
- 3) PAR 400~700nmは $300\sim 170\text{ kJ mol}^{-1}$ なので、8 molで $2400\sim 1360\text{kJ}$ になる。

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

- 4) 光エネルギーを、最大効率で20% ($490/2400$) ~ 36% ($490/1360$) を使って糖を作成可能。
- 5) または地上のPARは平均約 215kJ mol^{-1} なので、光エネルギーを最大で約28% 「 $(490 / (215 \times 8))$ 」 使って、糖を作成を作成可能。
- 6) 実際は、高温、低温、気孔閉鎖、光呼吸 (ATPやNADPの20-50%)、物質分配、呼吸があるため、生態系では、光エネルギーの数パーセントしか利用できない

生態学 I ー植物の生理生態ー

第2回 個体レベル、群落レベルの物質生産

個体の成長解析 ($RGR = NAR \cdot SLA \cdot LMA$)

個体の物質生産と分配 (C/F比)

個体の呼吸 (構成呼吸・維持呼吸・ Q_{10})

生産構造図と最適葉面積指数 (群落レベル)

陸域生態系の一次生産とエネルギー利用効率
(群落レベル)