

生態気象学特論

## 陸域生態系の炭素循環

生態系プロセスとそのモデリング

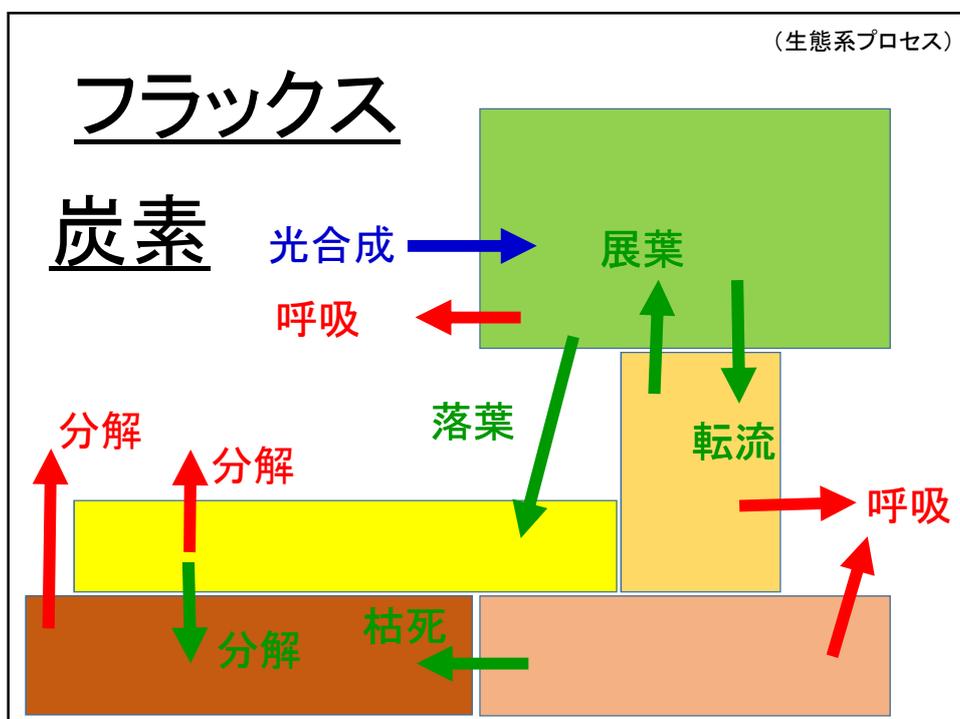
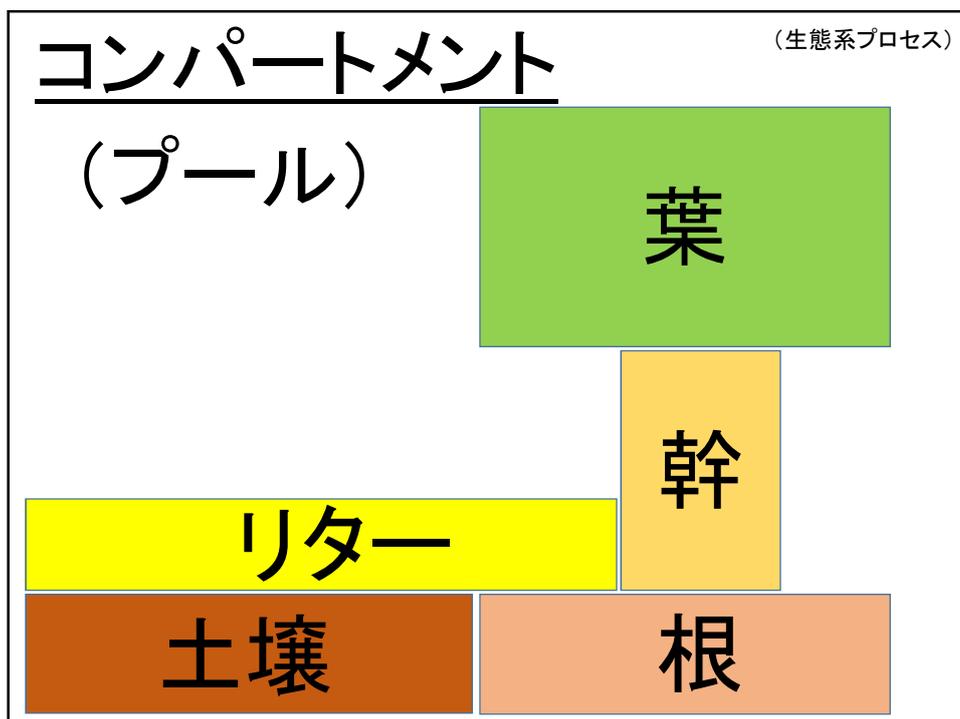
生態気象・植山

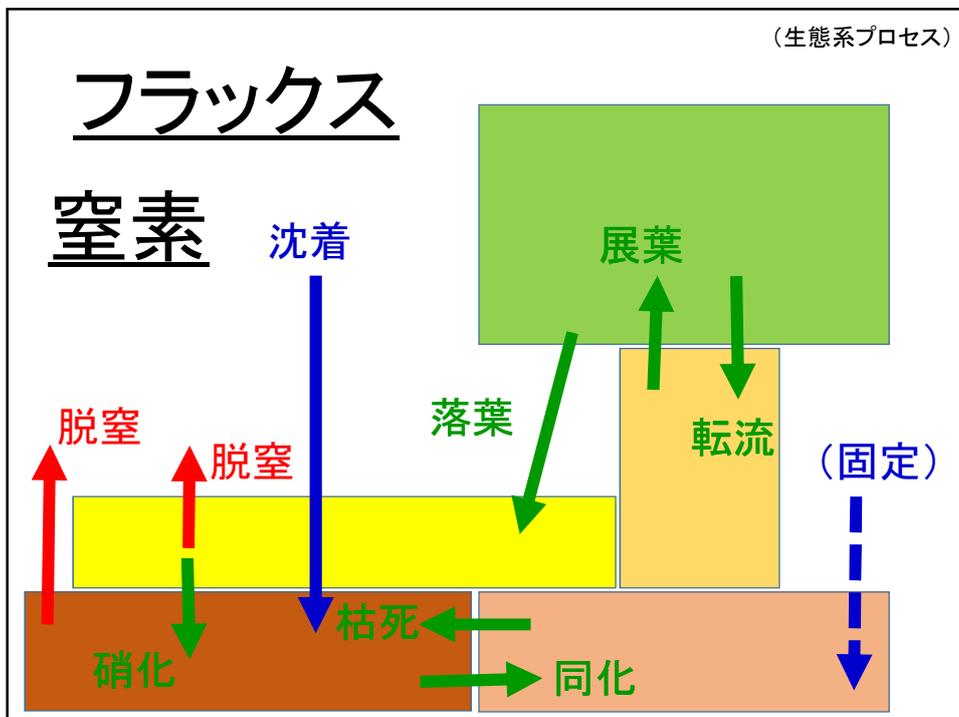
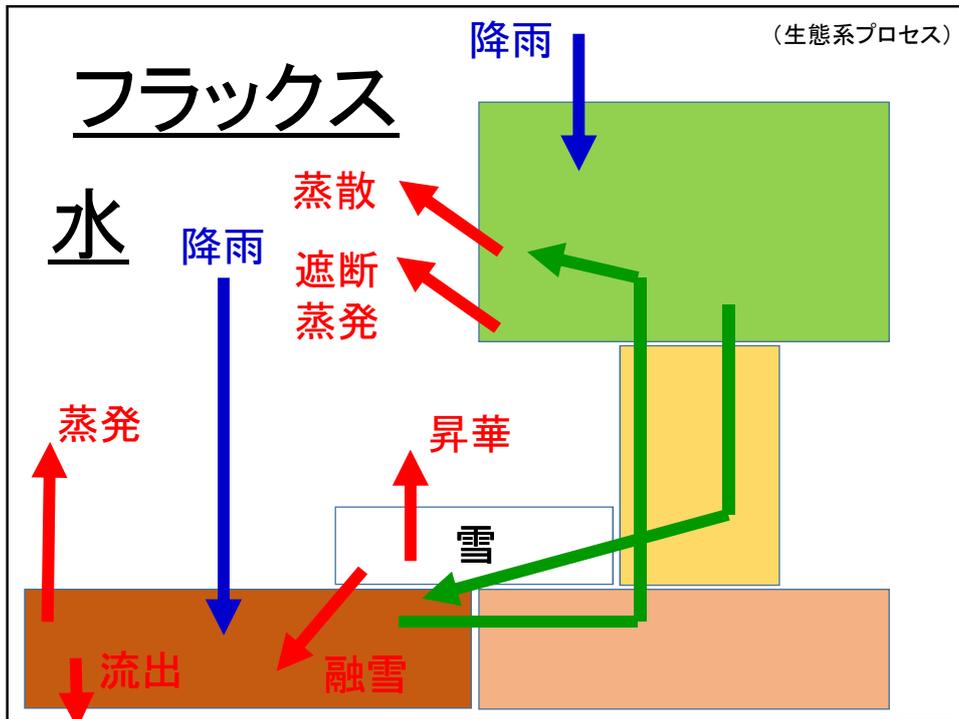
## 生態系プロセス

物質循環：水・炭素・窒素  
エネルギー交換

例えば、

光合成、呼吸、分解  
蒸発、蒸散、昇華、流出  
成長、分配、脱窒





## コンパートメント・モデル

生態系プロセスをコンパートメントと  
コンパートメント間のフローで記述

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} = F_1 + F_2 + F_3$$

$C_1$ : コンパートメント1(例えば;葉) ( $\text{kg m}^{-3}$ )

$t$ : 時間 (day)

$F_i$ : コンパートメント間のフロー*i*(例えば;光合成、呼吸、落葉) ( $\text{kg m}^{-2} \text{day}^{-1}$ )

## 炭素フラックス

$$\text{NPP} = \text{GPP} - R_a$$

$$\text{NEP} = \text{NPP} - R_h$$

$$\text{NEE} = -\text{NEP}$$

$$\begin{aligned} \text{NBP} = \text{NEP} + F_{\text{CO}} + F_{\text{CH}_4} + F_{\text{VOC}} \\ + F_{\text{DIC}} + F_{\text{DOC}} + F_{\text{POC}} - F_{\text{Fire}} \end{aligned}$$

(Chapin et al., 2006)

## 炭素フラックス

$$\text{NPP} = \text{GPP} - \text{Ra}$$

NPP : Net Primary Productivity

純一次生産量

GPP : Gross Primary Productivity

総一次生産量

Ra : Autotrophic respiration

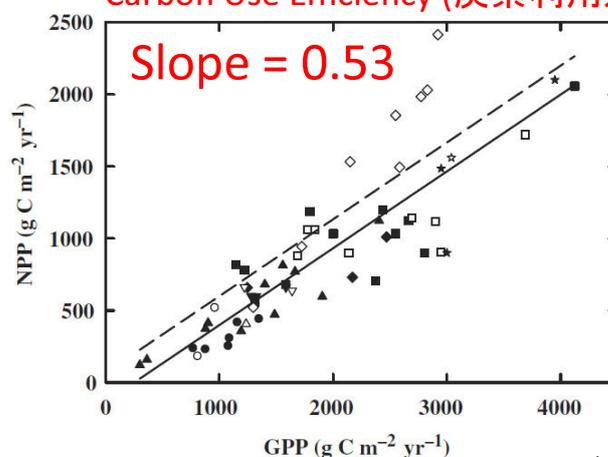
独立栄養呼吸

(Chapin et al., 2006)

## NPP (純一次生産量)

$$\text{NPP} = \text{GPP} - \text{Ra} \quad \text{CUE} = \text{NPP} / \text{GPP}$$

Carbon Use Efficiency (炭素利用効率)



(De Lucia et al., 2007)

## 炭素フラックス

$$\text{NEP} = \text{NPP} - \text{Rh}$$

NPP : Net Primary Productivity

純一次生産量

NEP : Net Ecosystem Productivity

純生態系生産量

Rh : Heterotrophic respiration

従属栄養呼吸

(Chapin et al., 2006)

## 炭素フラックス

$$\text{NEE} = -\text{NEP}$$

NEE : Net Ecosystem Exchange

正味生態系交換量

NEP : Net Ecosystem Productivity

純生態系生産量

(Chapin et al., 2006)

## 炭素フラックス

$$\text{NBP} = \text{NEP} + F_{\text{CO}} + F_{\text{CH}_4} + F_{\text{VOC}} \\ + F_{\text{DIC}} + F_{\text{DOC}} + F_{\text{POC}} - F_{\text{Fire}}$$

NBP : Net Biosphere Productivity

正味生物圏交換量

F : Flux (フラックス)

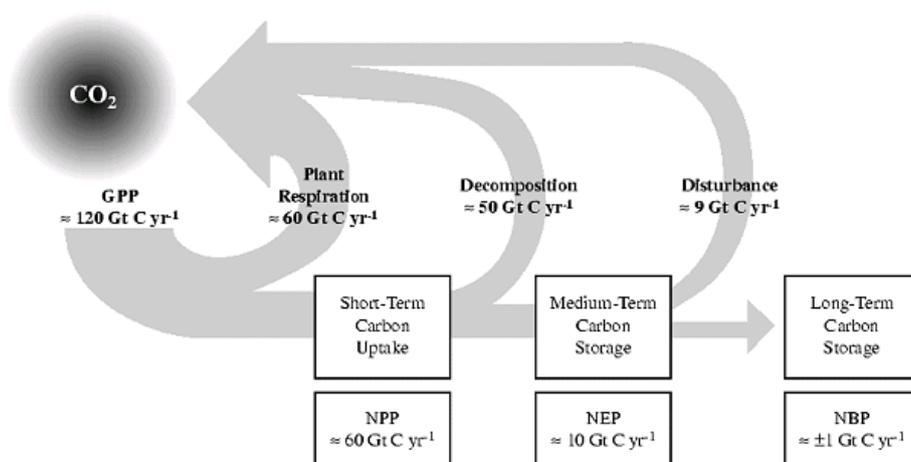
CO : 一酸化炭素 CH<sub>4</sub> : メタン VOC : 揮発性有機物

DIC : 溶存有機炭素 DOC : 溶存無機炭素 POC : 粒子性有機炭素

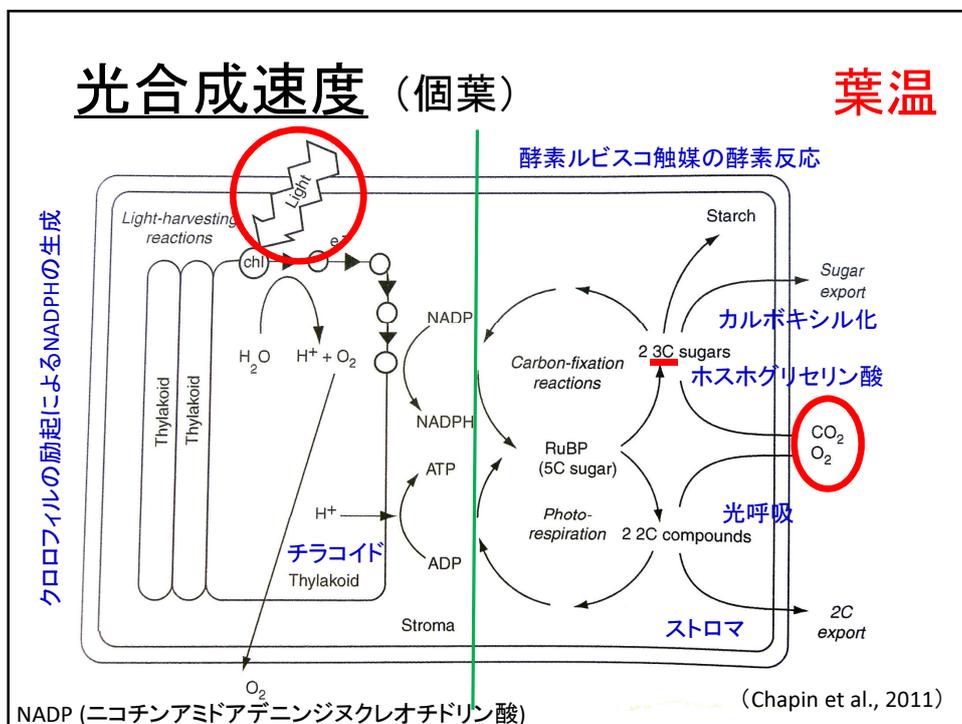
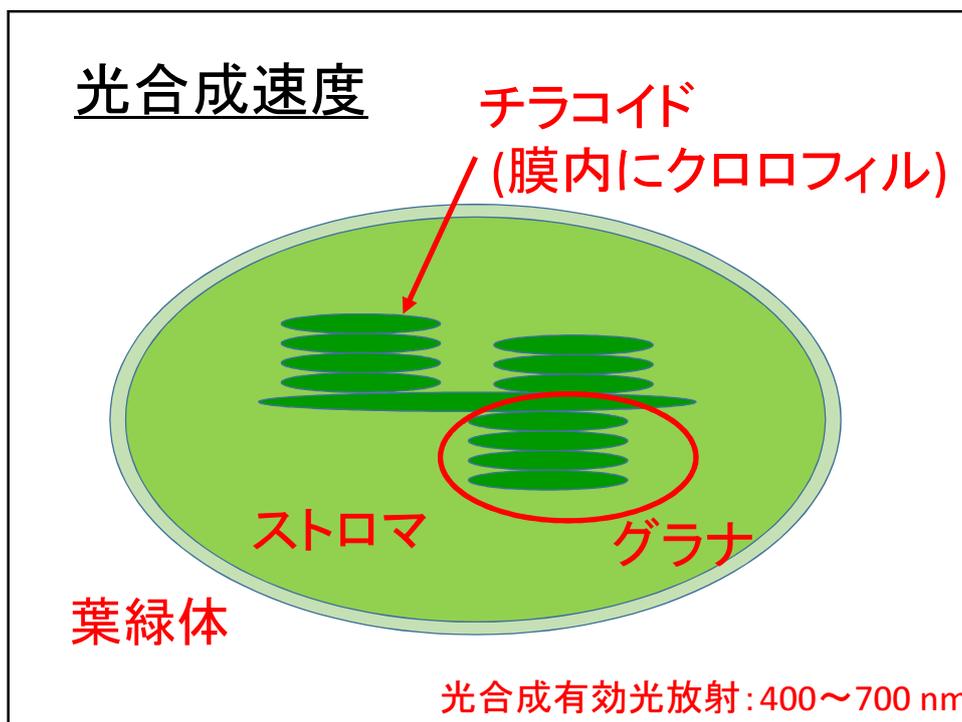
Fire : 火災 (その他の攪乱)

(Chapin et al., 2006)

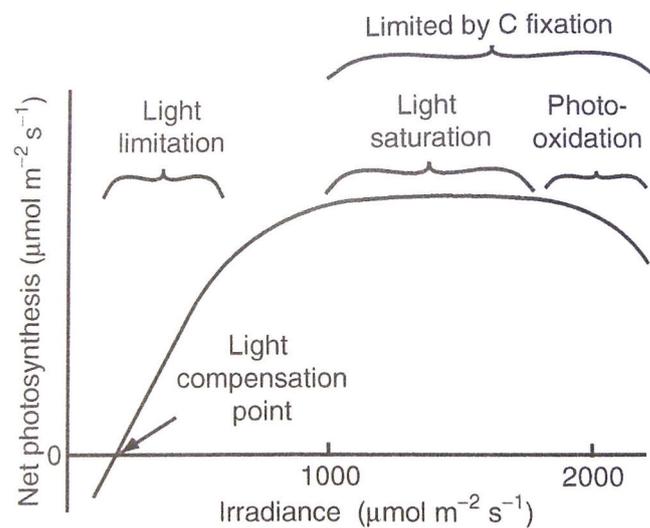
## 炭素フラックス



[http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land\\_use/index.php?idp=24](http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=24)

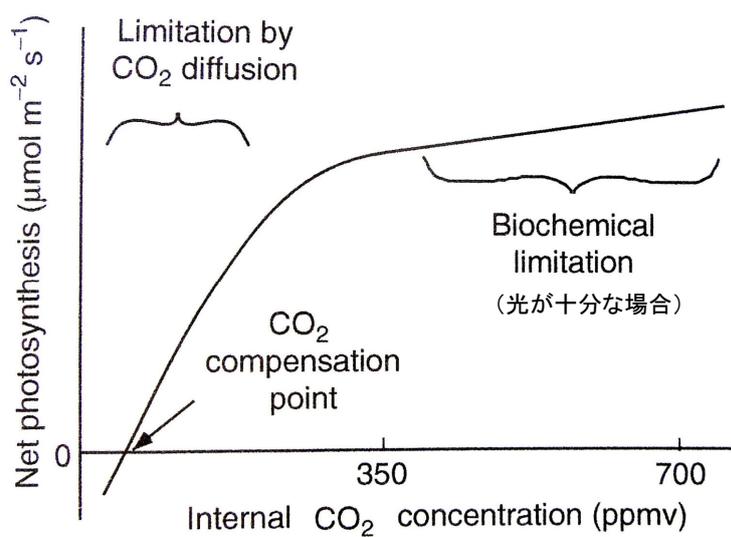


## 光合成速度



(Chapin et al., 2011)

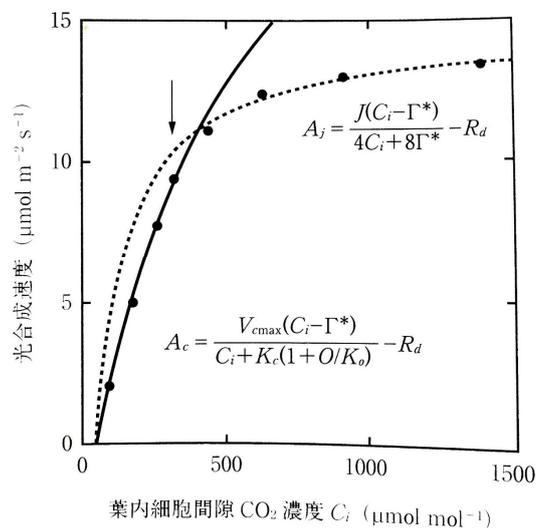
## 光合成速度



(Chapin et al., 2011)

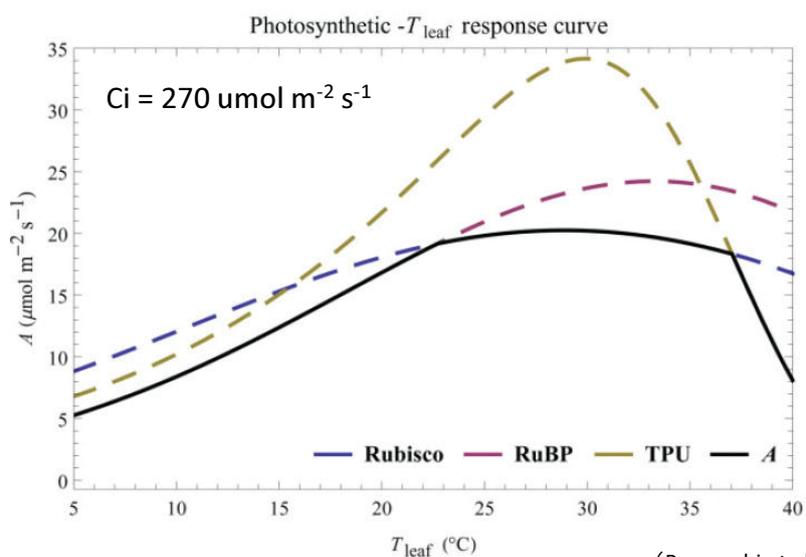
## 光合成速度

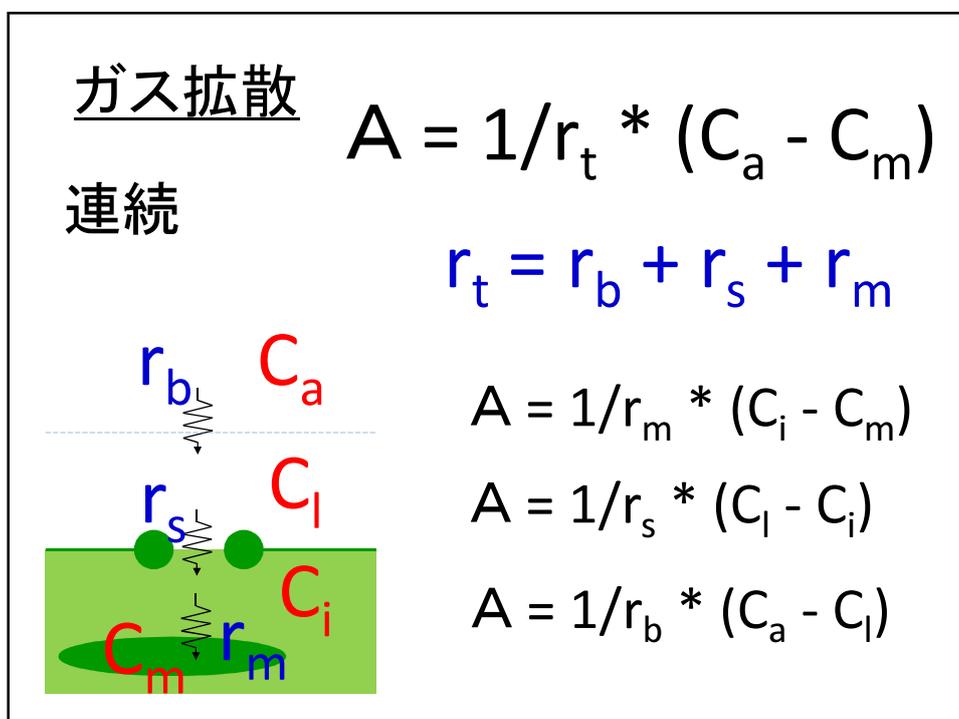
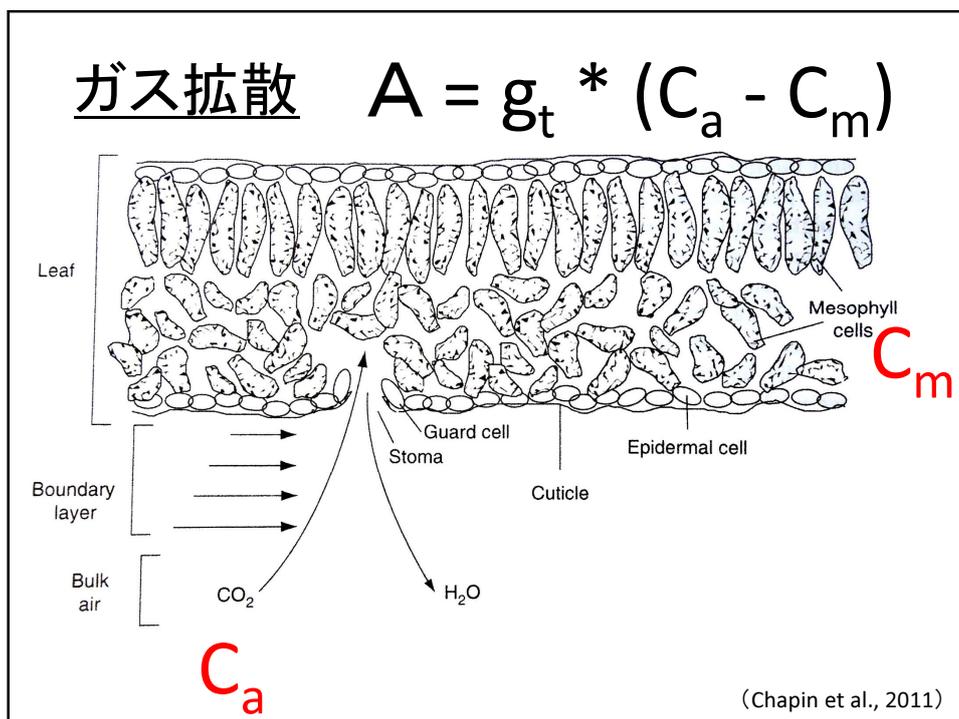
$$A = \min(A_j, A_c)$$



## 光合成速度

$$A = \min(A_j, A_c)$$



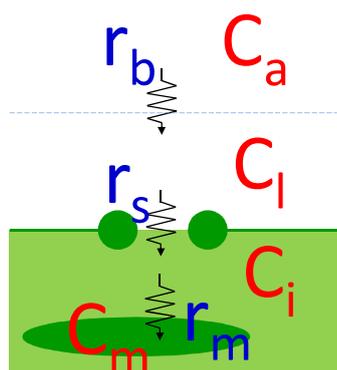


ガス拡散

$$A = g_t * (C_a - C_m)$$

コンダクタンスは抵抗の逆数

$$g = 1 / R$$



$$A = g_m * (C_i - C_m)$$

$$A = g_s * (C_l - C_i)$$

$$A = g_b * (C_a - C_l)$$

ガス拡散

**境界層コンダクタンス ( $g_b$ )**

: 葉の形状、風速 etc

**気孔コンダクタンス ( $g_s$ )**

: 気孔の数、開度

**葉肉コンダクタンス ( $g_m$ )**

: 葉の厚さ、水分条件 etc

## ガス拡散

### 気孔コンダクタンス

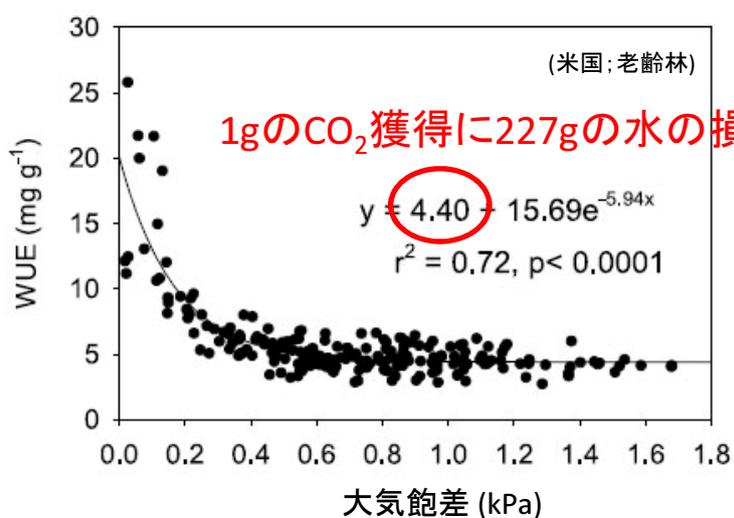
蒸散による水損失を低減  
CO<sub>2</sub>取り込みによる生産の最大化

Hydropassive

Hydroactive

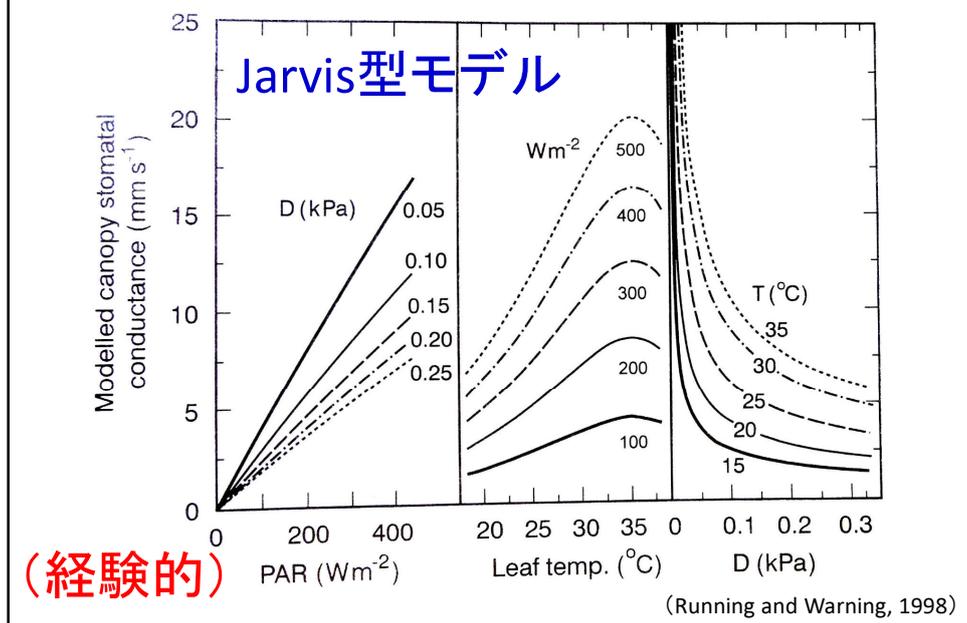
## ガス拡散

WUE (water use efficiency)  
水利用効率 = 光合成 / 蒸散



(Tang et al., 2006)

## 気孔コンダクタンスのモデル化



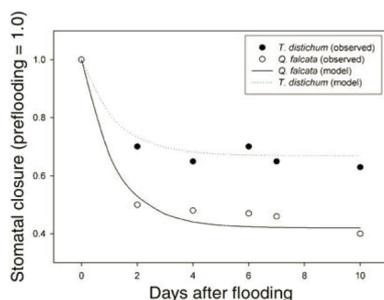
## 気孔コンダクタンスのモデル化

### Jarvis型モデル

最大気孔開度のときの気孔コンダクタンス

$$g_{sw} = g_{sw\_max} * f(T) * f(VPD) * f(PAR) * f(CO_2) * f(SWC)$$

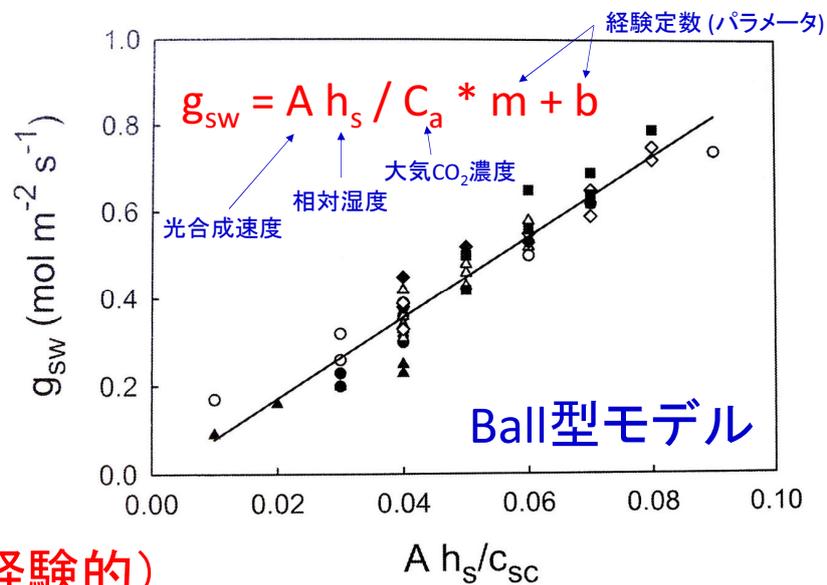
気孔開度 (0~1)



← 灌水の経過日数によって  
気孔が決まるような関数

(Bond-Lamberty et al. 2007)

## 気孔コンダクタンスのモデル化



CO<sub>2</sub>濃度上昇で生態系プロセスは  
どう変化するか？

光合成速度 ↑

気孔コンダクタンス ↓

蒸発散 ↓

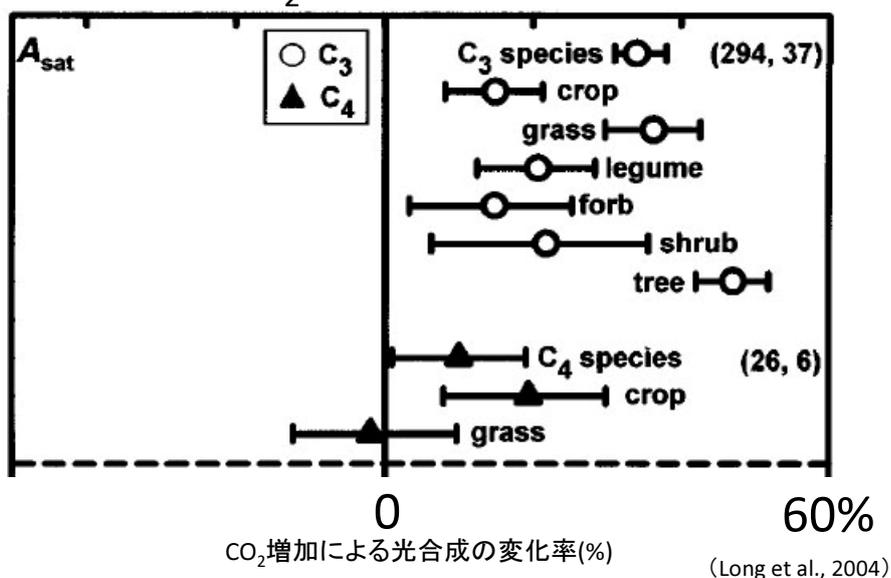
土壌水分 ↑ 窒素制限？

FACE (Free-Air Carbon Dioxide Enrichment)  
開放系大気CO<sub>2</sub>濃度増加実験

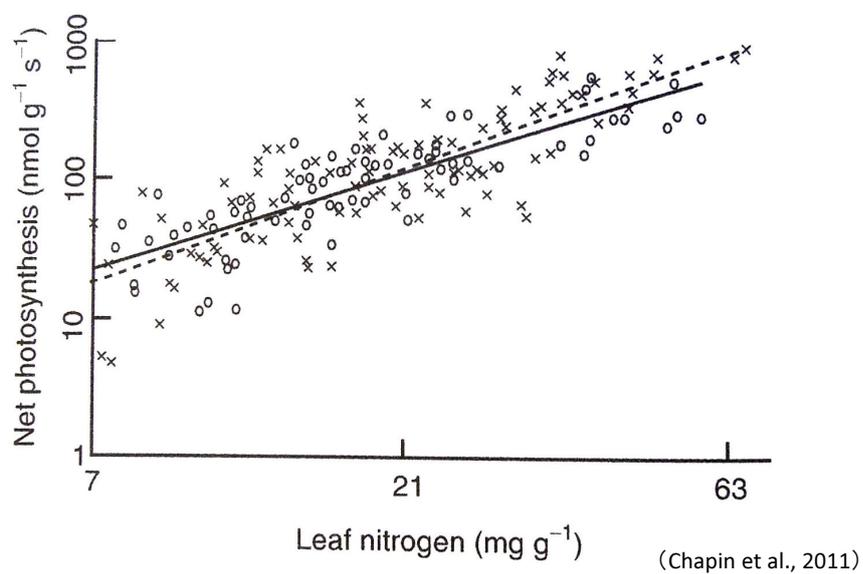


<https://nicholas.duke.edu/duke-forest-face>

FACE (Free-Air Carbon Dioxide Enrichment)  
開放系大気CO<sub>2</sub>濃度増加実験

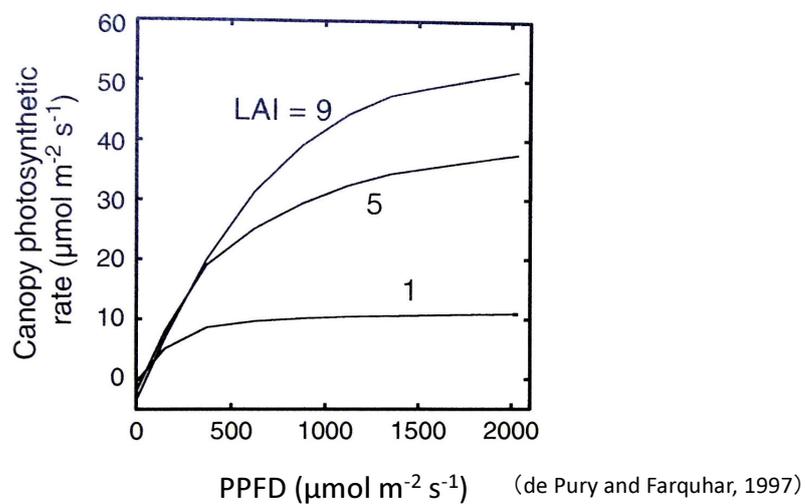


## 窒素量と純光合成速度

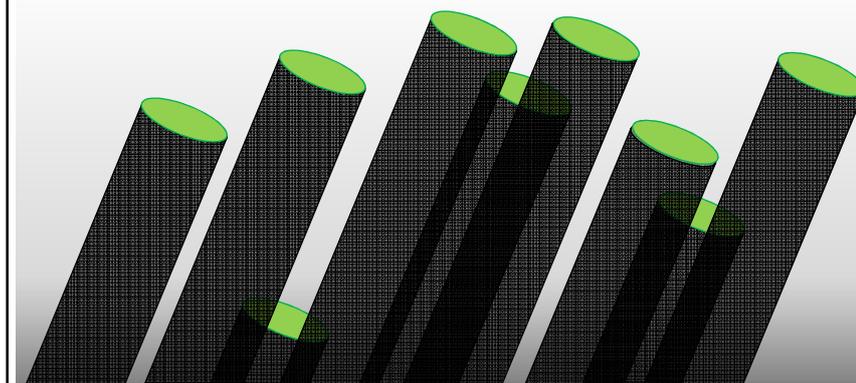


## 群落光合成

群落光合成 = 個葉光合成 × 葉面積 ??



放射伝達・群落光合成

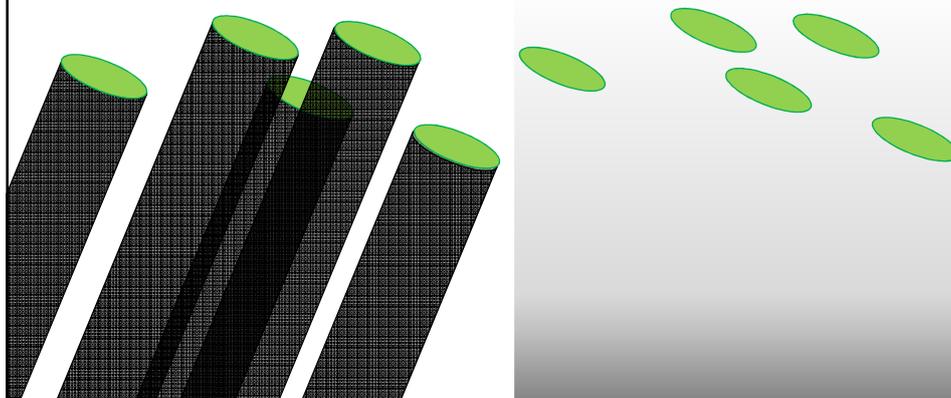


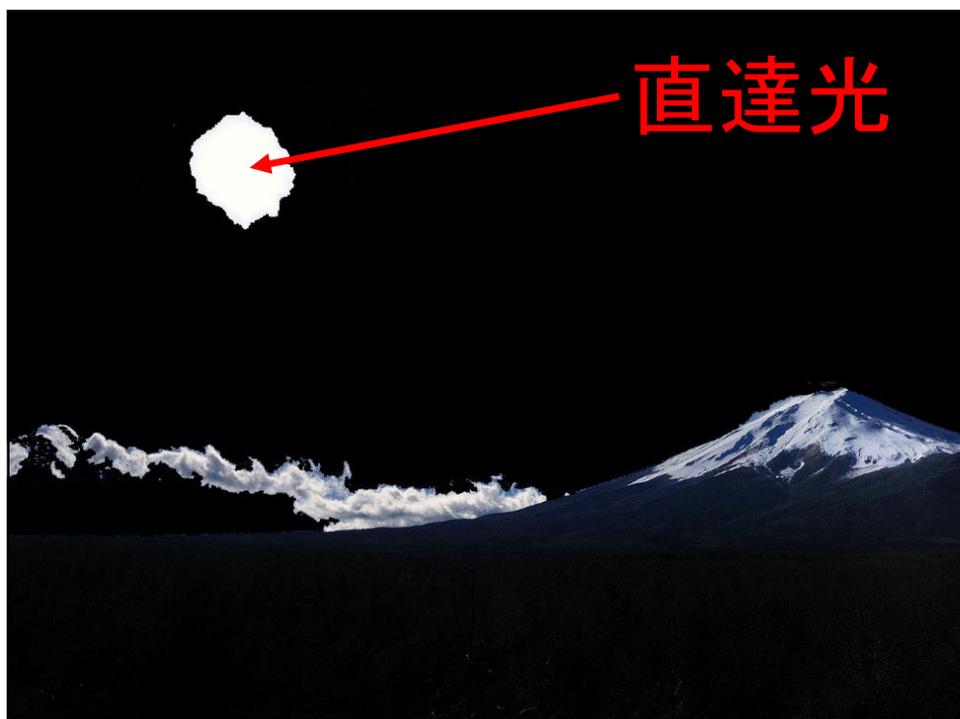
放射伝達・群落光合成



直達

散乱









## 放射伝達・群落光合成



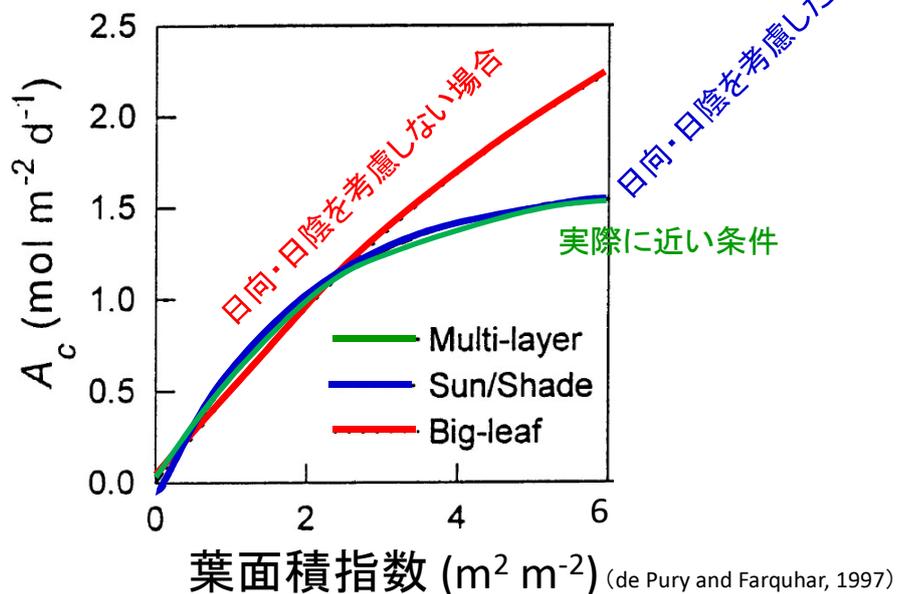
### 日向の葉が受け取る光

$$\text{PPFD}_{\text{sun}} = \text{PPFD}_{\text{direct}} + \text{PPFD}_{\text{diffuse}} + \text{PPFD}_{\text{scatter}}$$

### 日陰の葉が受け取る光

$$\text{PPFD}_{\text{shade}} = \text{PPFD}_{\text{diffuse}} + \text{PPFD}_{\text{scatter}}$$

## 放射伝達・群落光合成



## 炭素フラックス

$$\text{NPP} = \text{GPP} - \text{Ra}$$

NPP : Net Primary Productivity  
純一次生産量

GPP : Gross Primary Productivity  
総一次生産量

Ra : Autotrophic respiration  
独立栄養呼吸

(Chapin et al., 2006)

## 独立栄養呼吸

$$R_a = R_g + R_m$$

$R_a$  : Autotrophic respiration

独立栄養呼吸

$R_g$  : Growth respiration

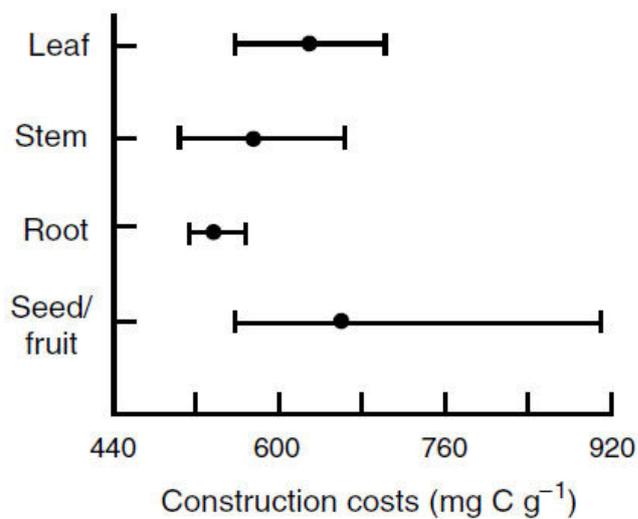
成長呼吸

$R_m$  : Maintenance respiration

維持呼吸

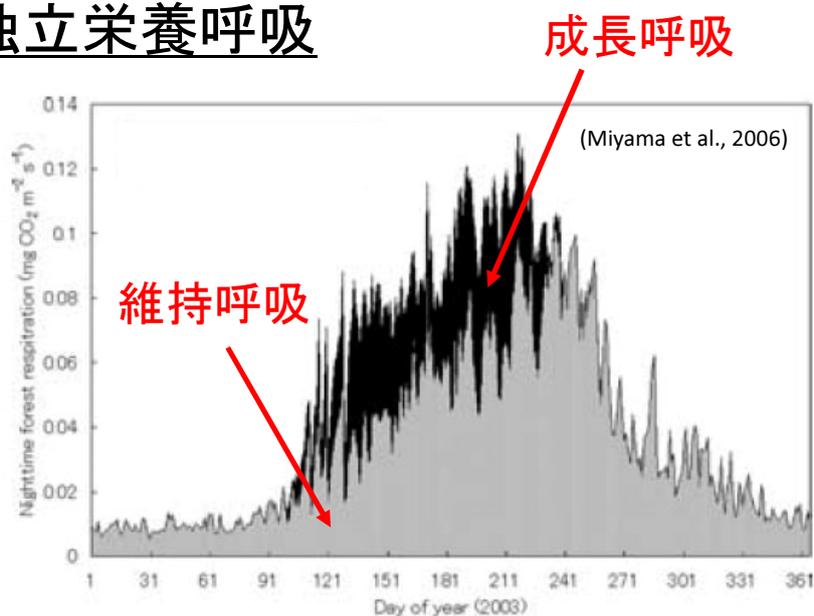
## 独立栄養呼吸

(Chapin et al., 2011)



1 gの乾物を生成する際のコスト

## 独立栄養呼吸

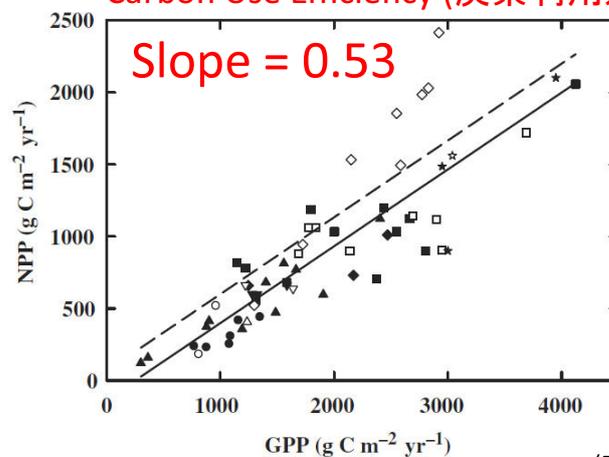


落葉広葉樹林の独立栄養呼吸の季節変化

## NPP (純一次生産量)

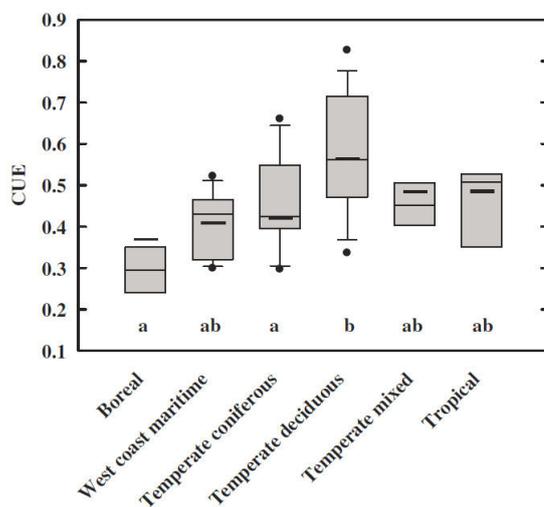
$$\text{NPP} = \text{GPP} - \text{Ra} \quad \text{CUE} = \text{NPP} / \text{GPP}$$

Carbon Use Efficiency (炭素利用効率)



## NPP (純一次生産量)

$$\text{NPP} = \text{GPP} - R_a \quad \text{CUE} = \text{NPP} / \text{GPP}$$

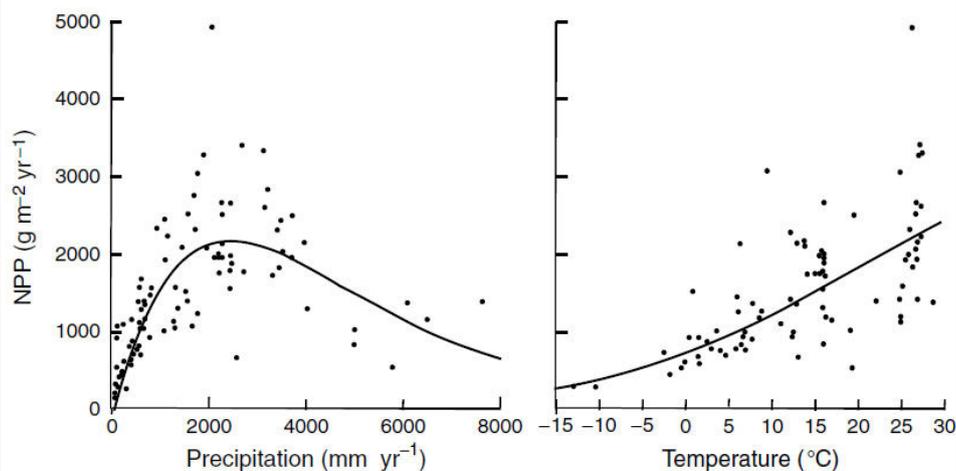


(De Lucia et al., 2007)

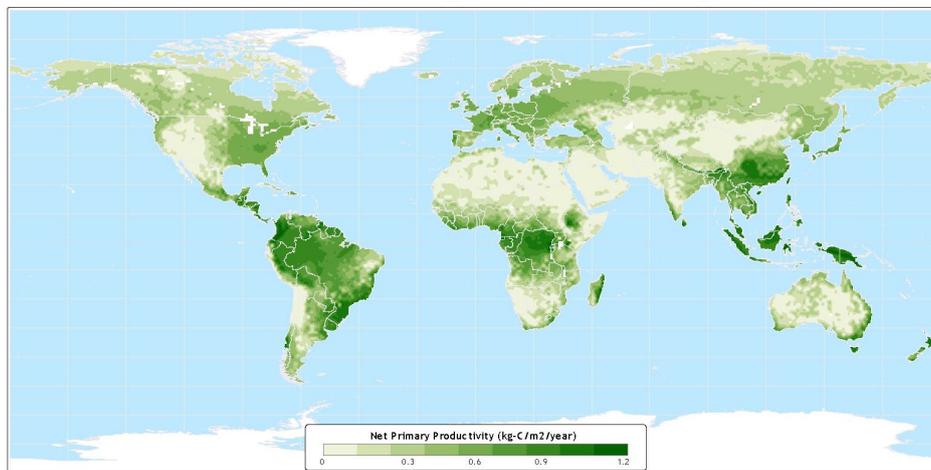
## NPP (純一次生産量)

$$\text{NPP} = \text{GPP} - R_a$$

(Chapin et al., 2011)



# 純一次生産量



Data taken from: IBIS Simulation  
(Kucharik, et al. 2000)  
(Foley, et al. 1996)

Atlas of the Biosphere

Center for Sustainability and the Global Environment  
University of Wisconsin - Madison

<https://nelson.wisc.edu/sage/data-and-models/atlas/maps.php?catnum=3&type=Ecosystems>

## 分配

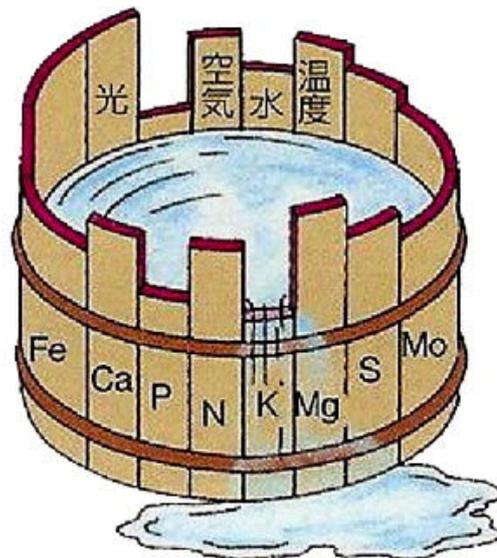
### 各要素へのNPPの分配率の代表値

Components of NPP <sup>a</sup>	% of NPP
New plant biomass	40–70
Leaves and reproductive parts (fine litterfall)	10–30
Apical stem growth	0–10
Secondary stem growth	0–30
New roots	30–40
Root secretions	20–40
Root exudates	10–30
Root transfers to mycorrhizae	15–30
Losses to herbivores and mortality	1–40
Volatile emissions	0–5

(Chapin et al., 2011)

## 分配

## リービッヒの最小律



<http://matome.naver.jp/odai/2143120929338037401>

## 分配

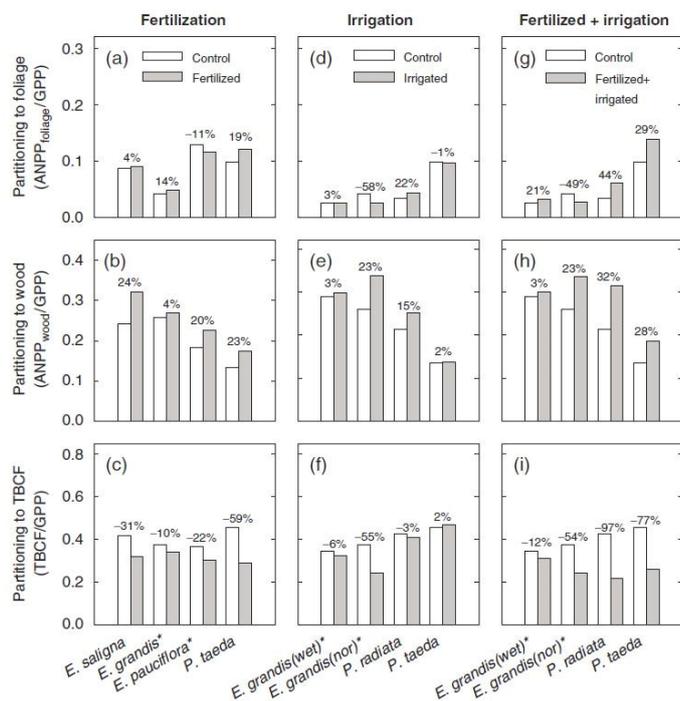
光に制限

地上部へ多く配分

水・栄養分に制限

地下部へ多く配分

## 分配



(Littonet al., 2007GCB)

## 炭素フラックス

$$NEP = NPP - Rh$$

NPP : Net Primary Productivity

純一次生産量

NEP : Net Ecosystem Productivity

純生態系生産量

Rh : Heterotrophic respiration

従属栄養呼吸

(Chapin et al., 2006)

