

生態気象学特論 メモ

担当：植山

■はじめに

陸域生態系の物質循環、すなわち炭素循環や水循環は、植物や土壌微生物によってなされる。地球上の陸域生態系の分布は、その土地の気候によって強く制約を受けており、赤道付近の熱帯林から、乾燥地の砂漠やステップ、寒帯気候のツンドラ生態系など多岐にわたる。そのため陸域生態系の物質循環や大気—生態系間の物質交換は、気候や気象の条件によって強く影響を受けている。本講義では、陸域生態系における物質循環と気候との相互作用を理解することを目的とする。特に、生態系の物質循環を予測するための陸域生態系モデルの概要・原理について理解を深め、その結果の解釈法について学ぶ。

■生態系生態学

生態系と物理環境と相互作用を学ぶ学問

■生態系と気候

バイオーム (Biome)

植物機能型 (Plant Functional Type)

■生態系プロセス

定常因子 (State Factor) : 気候、地理・地形、母材、時間、人間活動

物質循環 (水循環、炭素循環、窒素循環)、エネルギー循環

コンパートメントモデル：生態系機能をコンパートメントに分けて評価する。

コンパートメント (プール)

フロー (フラックス)

炭素循環

コンパートメント : 葉、幹、根、細根、リター、土壌など

プロセス (フロー) : 光合成、独立栄養呼吸、展葉、落葉、転流、分解、枯死など

水循環

コンパートメント : 葉、雪、土壌など

プロセス (フロー) : 降雨、蒸発、蒸散、昇華、流出など

■炭素循環

炭素フラックス

$$NPP = GPP - R_a$$

$$NEP = NPP - R_h$$

$$RE = R_a + R_h$$

$$NEE = -NEP$$

$$NBP = NEP + F_{CO} + F_{CH_4} + F_{VOC} + F_{DIC} + F_{DOC} + F_{POC} + F_{Fire}$$

GPP	: 総一次生産量	(Gross Primary Productivity)
NPP	: 純一次生産量	(Net Primary Productivity)
NEP	: 純生態系生産量	(Net Ecosystem Productivity)
NEE	: 純生態系交換量	(Net Ecosystem Exchange)
NBP	: 純生物圏交換量	(Net Biosphere Productivity)
RE	: 生態系呼吸	(Ecosystem Respiration)
R _a	: 独立栄養呼吸	(Autotrophic Respiration)
R _h	: 従属栄養呼吸	(Heterotrophic Respiration)
F _{CO}	: 一酸化炭素フラックス	(生態系への取り込みが正)
F _{CH₄}	: メタンフラックス	(生態系への取り込みが正)
F _{VOC}	: 揮発性有機物フラックス	(生態系への取り込みが正)
F _{DOC}	: 溶存有機炭素フラックス	(生態系への取り込みが正)
F _{DIC}	: 溶存無機炭素フラックス	(生態系への取り込みが正)
F _{POC}	: 粒子性有機炭素フラックス	(生態系への取り込みが正)
F _{Fire}	: 火災による消失炭素量	(常に負)

■炭素フラックス

★光合成速度 $A = \min(A_v, A_j)$

A_v : カルボキシル化律則 (炭素合成反応; 細胞内 CO₂ 分圧、葉温など)

A_j : 電子伝達速度律則 (光化学反応; 放射、葉温など)

★ガス拡散: フラックスは連続している。

$$A = \frac{1}{r_t}(C_a - C_m)$$
$$= \frac{1}{r_m}(C_i - C_m) = \frac{1}{r_s}(C_l - C_i) = \frac{1}{r_b}(C_a - C_l)$$

$$r_t = r_m + r_s + r_b$$

C_a : 大気 CO_2 濃度、 C_l : 葉面境界層内 CO_2 濃度、 C_i : 細胞間隙 CO_2 濃度、 C_m : 細胞内 CO_2 濃度、 r_t : 総拡散抵抗、 r_b : 境界層抵抗、 r_s : 気孔抵抗、 r_m : メソフィル抵抗

* コンダクタンスは抵抗の逆数

境界層抵抗: 風速や葉の形状による

気孔抵抗: 気孔開度、気孔の数による

メソフィル抵抗: 葉の厚さや水分条件などによる

気孔コンダクタンスのモデル化

気孔を開くと CO_2 を取り込めるが、蒸散により水を失う。閉じると、水損失は低減できるが、 CO_2 獲得量が減る。両者を最適化するように環境に応答して、気孔開度が変化する。

経験的モデル (Jarvis 型)

Jarvis 型のモデルは、最大気孔コンダクタンス (g_{ws}) に対して、環境要因によるストレス関数 (f ; 0~1 の値をとる) の積で、気孔コンダクタンスを表現している。観測により経験的に新たなストレス要因を追加しやすい。

$$g_{sw} = g_{swmax} f(T) f(PPFD) f(VPD) f(c_s) f(...) f(...)$$

半経験的モデル (Ball-Berry 型)

Ball-Berry 型のモデルは、気孔コンダクタンスが光合成速度 (A)、相対湿度 (rh_s)、 CO_2 濃度 (c_s) によって関連付ける。M と B は経験的なパラメタである。

$$g_{sw} = M \frac{A}{c_s} rh_s + B$$

★日向と日陰の光合成

光—光合成の関係は非線形なので、日向と日陰の葉が受け取る光をそれぞれ求めて、日向・日陰ごとの光合成速度を評価する必要がある。日向は光飽和していても、日陰は光飽和していないことがある。

日向の葉が受け取る光

$$PPFD_{\text{sun}} = PPFD_{\text{direct}} + PPFD_{\text{diffuse}} + PPFD_{\text{scatter}}$$

日陰の葉が受け取る光

$$PPFD_{\text{shade}} = PPFD_{\text{diffuse}} + PPFD_{\text{scatter}}$$

$PPFD_{\text{sun}}$ は日向の葉が受け取る PPFD、 $PPFD_{\text{shade}}$ は日陰の葉が受け取る PPFD、 $PPFD_{\text{direct}}$ は PPFD の直達成分、 $PPFD_{\text{diffuse}}$ は PPFD の散乱成分、 $PPFD_{\text{scatter}}$ は $PPFD_{\text{direct}}$ のうち群落内で散乱した成分を表す。

★独立栄養呼吸

成長呼吸：バイオマス生成に対するコスト

維持呼吸：バイオマスを維持するために必要なコスト

★CUE (Carbon Use Efficiency)

GPP に対する NPP の比は炭素利用効率と呼ばれ、光合成によって獲得した炭素がどの程度純一次生産量に利用されたかを表す指標である。

$$CUE = NPP / GPP$$

さまざまな生態系を比較すると、NPP はおおよそ GPP の半分程度となる。すなわち、GPP で獲得した炭素の約半分が、植物体の生産量となり、残りの半分は独立栄養呼吸に使われる。ただし、CUE は植生タイプごとに微妙に異なる。

★分配

リービッヒの最小律：植物は成長に対して最も足りていない資源の獲得を最大限にするために、バイオマスを分配する。

★分解 (従属栄養呼吸)

枯死した葉、幹、根、粗大有機物が分解されて土壌になり、土壌有機物も分解される。分解過程で CO_2 となり大気に放出され、また一部は、難分解性の有機物となり土壌に残る。

分解しやすい有機炭素：糖分、でんぷん、脂質、タンパク質

分解しづらい有機炭素：タンニン、セルロース、リグニン

分解速度は、土壤微生物の量や活性速度に依存する。例えば、土壤有機物(i)の分解速度 (R_{hi}) は、有機物 i に対する速度定数 (R_i) と地温、土壤水分による効果を表す関数を使って、以下のようにモデル化することが出来る。

$$R_{hi} = R_i f_d(T_{soil})f_d(W_{soil})$$

■水収支

$$P = T + E_s + E_c + S + R + \Delta S$$

- P : 降水量
- T : 蒸散量
- E_s : 土壤蒸発量
- E_t : 遮断蒸発量 (樹冠にトラップされた雨が樹冠から蒸発)
- S : 昇華量
- R : 流出量
- ΔS : 貯水量変化 (土壤水分の変化など)