

B-6 陸域生態系の二酸化炭素動態の評価と予測モデリングに関する研究

(1) 自然生態系の二酸化炭素変動機構のモデル化と予測

② 熱帯林生態系におけるモデル化と予測

研究代表者 農林水産省 農業環境技術研究所
地球環境研究チーム 袴田共之

農林水産省 国際農林水産業研究センター 環境資源部 松本成夫

平成 8～10 年度合計予算額 6,957 千円
(平成 10 年度予算額 2,101 千円)

〔要旨〕熱帯林は世界の森林面積のおよそ 40%を占められており、二酸化炭素の変動機構を明らかにするためには、熱帯林における炭素動態を明らかにすることが重要である。そこで、本研究では、タイ国コンケン熱帯林を対象とし、植物-土壌系における炭素循環を定量的に明らかにし、モデル化するとともに、熱帯林生態系の二酸化炭素変動予測を行うことを目的とする。

対象とした熱帯林の高さは 25 m であり、落葉落枝量は 5.1 tC/ha/yr、落葉層の現存量は平均 4.1 tC/ha であった。落葉層の分解による二酸化炭素放出量は 0.6 tC/ha/yr であり、土壌への炭素供給量は 4.5 tC/ha/yr と見積もられた。また、細根量は 1.2 tC/ha であり、細根から土壌への炭素供給量は 0.2 tC/ha/yr、呼吸による二酸化炭素放出量は 11.9 tC/ha/yr と見積もられた。林床からの二酸化炭素放出量は 18.0 tC/ha/yr であり、土壌からの二酸化炭素放出量は 5.5 tC/ha/yr と見積もられた。土壌炭素現存量は 41.4 tC/ha である。土壌では毎年 0.8 tC/ha/yr の炭素が減少していると見積もられた。

熱帯林では土壌への炭素蓄積が認められなかった。これは、落葉落枝量に比べて、有機物の分解が早いためである。それ故、土壌炭素現存量は温帯林に比べてかなり低い。すなわち、熱帯林における炭素循環の制限要因は落葉落枝などの炭素供給量であった。このことより、今後、気温の上昇もしくは降雨量の増加があったとしても、土壌からの二酸化炭素放出量は増加しないと予想される。また、落葉落枝量の増加があったとしても、有機物分解速度が速いため、土壌に炭素が蓄積することは難しいと予想される。

〔キーワード〕熱帯林、炭素循環、落葉落枝、土壌呼吸、東北タイ

1. 序

熱帯林は世界の森林面積のおよそ 40%を占めており、その面積は年々 0.8%ずつ減少している¹⁾。そのため、地球温暖化ガスの一つである二酸化炭素の変動に大きな影響を与えている。そこで、熱帯林における炭素動態のメカニズムを解明し、二酸化炭素の変動に対する影響を解明することが必要である。

熱帯林において、二酸化炭素は樹木、落葉層、土壌有機物に蓄積される。一方、二酸化炭素の放出は、樹木の焼却と落葉層および土壌有機物の分解による。つまり、植物-土壌系に沿って炭

素が移動していると思なすことができる。二酸化炭素の変動機構の解明およびそのモデル化は、樹木、落葉層、土壌有機物への炭素の蓄積、放出を定量的に解明することで可能と考えられる。

2. 研究目的

熱帯林生態系を対象とし、植物-土壌系における炭素循環を定量的に測定し、その炭素収支をモデル化することにより、熱帯林生態系の二酸化炭素の変動機構を明らかにすると共に、その変動予測を行う。

植物-土壌系における炭素循環を定量的に明らかにするため、落葉落枝量、落葉層現存量、細根量、土壌炭素現存量、落葉の分解に伴う二酸化炭素放出量および林床からの二酸化炭素放出量の測定を行った。また、炭素循環速度を規定する環境要因と思われる地温および土壌水分率の測定を行った。そして、炭素循環モデルの構築を行い、熱帯林生態系における炭素の蓄積量を見積もるとともに、環境変動に伴う炭素蓄積の変動について予測した。

3. 研究方法

調査区はタイ国コンケン県に設定した。コンケンは東経 103 度、北緯 16 度に位置する (図 1)。年平均気温は 27°C、年間降水量は 1,197 mm であり、雨は 5 月から 10 月に多く降る²⁾ (図 2)。対象とした森林は熱帯季節林であり、乾季には落葉する。林冠の高さはおよそ 25 m である。対象地は平地にあり、地形は平坦である。対象林は寺の敷地内にあり、古くから森林として保たれており、人為影響はあまり受けていない。

調査区の大きさは 10 m×50 m である (図 3)。調査区内の樹高 2 m 以上の樹木を対象とし、樹高と胸高直径を測定した。落葉落枝量は約 50 cm×50 cm のリタートラップを 12ヶ所設置し、1996 年 10 月から 1997 年 10 月まで、ほぼ月 1 回の頻度で落葉落枝量を測定した。落葉層の現存量は林床に 32 cm×41.5 cm の枠を 6ヶ所設置し、その中の落葉層の重量および含水比 (落葉層の水分重量/落葉層の乾燥重量) を 1996 年 10 月から 1997 年 10 月まで、ほぼ月 1 回の頻度で測定した。林床からの二酸化炭素放出量はスポンジアルカリ吸収法³⁾により、1997 年 3 月から 1997 年 11 月まで、1ヶ月に 2 回の頻度で測定を行った。測定チャンバーは 10ヶ所設置した。環境要因として、深さ 10 cm の地温と深さ 0~15 cm の土壌水分率 (ある容積に占める水の体積) を二酸化炭素放出量測定時に観測した。細根量は 25 cm×25 cm の枠で深さ 30 cm までの根を 5ヶ所採取して測定した。土壌炭素現存量は表層 (0~3 cm)、10 cm、20 cm、40 cm、60 cm、100 cm の土の炭素含有率および容積重を 5ヶ所で測定して求めた。

1997 年の測定において落葉層の分解がかなり早いことが観察された。そこで、落葉の分解過程における二酸化炭素の放出量を 1998 年に測定した。調査区内に設置した各チャンバーにおよそ 20 g の落葉を入れ、二酸化炭素放出量の測定を毎週行った。落葉時の葉の形をとどめた落葉と細かく砕かれた落葉では二酸化炭素放出量に違いが出てくるものと考え、5 つのチャンバーには大きいままの落葉を入れ、5 つのチャンバーには砕いた落葉を入れた。二酸化炭素放出量の測定は落葉がなくなるまで続けた。

4. 結果・考察

調査区内の樹木密度は 3,860 本/ha であった。対象とした森林の樹高および胸高直径の分布を図

4に示した。林冠を形成する樹木の高さは20~25 mであり、その樹木密度は440本/haであった。林冠の下層(10~15 m)にも樹木が連続して分布している。3~4 mにかなりの個体が存在しているが、3 m以下の樹木は少ない。胸高直径が35 cm以上の個体はなく、あまり太い樹木は存在していない。

落葉落枝量は2月~3月に多く、約30 kgC/ha/dayの炭素が落葉層に供給されていた。4月以降は少なくなり、炭素供給量は約10 kgC/ha/dayであった(図5)。落葉層の変動量に比べて落葉落枝量が少ないため、1998年も補足的に測定を行ったが、ほぼ同じ落葉落枝量を示した。

落葉層の現存量は4月まで約2 tC/haであったが、4月以降増加し、6月には9 tC/haに達した。7月以降は現存量が低下し、10月下旬には4 tC/haとなった。落葉層の含水比は3月下旬に250%を示したが、その他は50%以下で推移した(図6)。落葉層の変動が落葉落枝量に比べて大きかったが、1998年に観察したところ、種子の落下によるものであることがわかった。なお、種子の落下は局地的に見られ、1997年の測定時に設定した枠が種子落下の多い位置にあったため、このように大きな変動を示した。

林床からの二酸化炭素放出量は4月上旬と10月中旬に1000 mgCO₂/m²/hrを越える量を示したが、その他の雨季(5月~10月)は600~800 mgCO₂/m²/hr、乾季(11月~4月)は約500 mgCO₂/m²/hrの放出量で推移した。地温は24~27℃で推移し、大きな変動は認められなかった。土壌水分率は、乾季終わりには5%以下であったが、降雨に伴い、10~20%と高くなった。しかし、林床からの二酸化炭素放出量と地温および土壌水分率との関係は認められなかった(図7)。4月における高い二酸化炭素放出量は乾季後の初めての雨により分解者の活動が高まり、落葉を分解したために発生したものと考えられる。また、2月~3月にかけて蓄積した落葉は5月には新たに供給された落葉のみになっていることが観察されており、4月の1ヶ月間に落葉が分解された。6月に降雨のあるにもかかわらず、二酸化炭素放出量が低下するのは落葉量が少なくなったためと考えられる。ただし、10月の高い二酸化炭素放出量については、1998年の補足的な測定でも認められたが、今のところ原因は不明である。

落葉の分解に伴い二酸化炭素が放出されるが、その分解は落葉を入れた1週間後からすぐに認められた(図8)。大きいままの落葉を入れた場合、入れた直後(8/24)は4.3 gC/m²/dayの二酸化炭素放出量にすぎなかったが、1週間後には8.0 gC/m²/dayの二酸化炭素放出量を示し、約3週間続いた。その後、放出量は低下し、7週間後には落葉がなくなり、4.6 gC/m²/dayの放出量となった。細かく砕いた落葉を入れた場合、入れた直後(8/24)から6 gC/m²/dayの放出量を示し、1週間後には9.4 gC/m²/dayの放出量に達した。その後、チャンバー内の落葉量の減少に伴い、二酸化炭素放出量が減少し、5週間後には落葉がなくなり、5 gC/m²/dayの二酸化炭素放出量となった。落葉を除去した場合の二酸化炭素放出量を測定してあり、その量の平均が4.6 gC/m²/dayであった。そこで、4.6 gC/m²/dayを越す二酸化炭素放出量を落葉からの二酸化炭素と見なすと、大きいままの落葉は7週間で119 gC/m²の二酸化炭素が落葉から放出され、細かく砕いた落葉は5週間で105 gC/m²の二酸化炭素が落葉から放出されたと見積もられた。チャンバーに入れた落葉量は大きいままの落葉が899 gC/m²、細かく砕いた落葉が992 gC/m²であり、チャンバーに入れた落葉量に対する落葉から放出された二酸化炭素量の割合は大きいままの落葉で13%、砕いた落葉で11%であった。このことより、落葉落枝量の10~15%が分解過程で二酸化炭素となって放出しているものと推測された。この割合は温帯林の測定結果と比べてかなり低い。これは土壌動物による落

葉落枝の分解がかなり早いためと推察する。実際、シロアリにより落葉落枝が素早く消失する事実を観察している。熱帯林生態系における炭素循環において、シロアリなどの土壤動物の関与は無視できないものとする。

細根量は 25 cm x 25 cm 枠、深さ 30 cm で 8~32 gDW と場所による幅が大きかった。平均すると、2.34 tDW/ha、1.17 tC/ha と見積もられた（表 1）。細根は 30 cm 以深にはあまり存在せず、太い根が深層まで達していることが観察により明らかになっている。従って、細根量は本研究で見積もられた値でほぼ間違いないと思われる。

土壤中の炭素現存量は 0~100 cm で 41.4 tC/ha と見積もられた（表 2）。炭素含有率は 0~15 cm で 0.5 % 以上、30 cm までで 0.3 %、それ以上深い層では 0.2 % であり、炭素はほんの表層に蓄積していた。

以上、これまでに測定した結果を炭素循環としてまとめた（図 9）。図中の 13 個の数値のうち、測定により得られた数値は 6 個であり、2 個はある仮定の下に求めた数値、残りの 5 個は差し引きで求めた数値である。落葉落枝量、落葉層の現存量、土壤炭素量、細根量および二酸化炭素放出量は実測値である。落葉層からの二酸化炭素放出量は落葉落枝量 5.1 tC/ha/yr の 12 %（前段落参照）とした。細根からの二酸化炭素放出量については、土壤が乾燥しきった状態では微生物の活動が休止し、有機物の分解はないものと考え、土壤が乾燥しきった時期の二酸化炭素放出量 500 mgCO₂/m²/hr を細根の呼吸によるものとみなし、細根からの二酸化炭素放出量を 11.9 tC/ha/yr と見積もった。また、細根量の 20 % が枯死すると見なし、細根から土壤への移行量を求めた。

この炭素循環より、土壤炭素量が毎年 0.8 tC/ha/yr 減少すると見積もられた。土壤に供給される炭素量より有機物分解速度が高いためである。それ故、土壤炭素現存量は温帯林に比べてかなり低い。落葉はほぼ 1 ヶ月で消失してしまう。このような有機物分解速度が早い生態系においては、落葉落枝の炭素供給量が炭素循環の制限要因となっている。

今後、環境が変動し、気温の上昇もしくは降雨量が増加したとしても、土壤炭素量がそもそも少ないこともあり、二酸化炭素放出量の増加はないと予想される。また、落葉落枝量が増加したとしても、有機物分解速度が速いため、土壤に炭素が蓄積されるとも予想しにくい。環境が変動した場合、熱帯林の面積は変化しても、熱帯林からの単位面積当りの二酸化炭素放出速度はあまり変わりがないとまとめられる。

5. 本研究により得られた成果

- ① 熱帯林の林床からは多量の二酸化炭素が放出されているが、これは根の呼吸によるものが大半を占め、有機物の分解による二酸化炭素はあまり多くない。
- ② 落葉落枝による有機物供給量が限られているため、土壤への炭素供給量があまり多くない。それに比べて、有機物分解速度は速いため、土壤炭素量は少ない。
- ③ 気温の上昇もしくは降雨量の増加があったとしても、土壤からの二酸化炭素放出量は増加しないと予想される。また、落葉落枝量が増加したとしても、有機物分解速度が速いため、土壤に炭素が蓄積することはないと予想される。

6. 参考文献

- 1) 世界資源研究所：世界の資源と環境 1994-95. 日本語版監修：森島昭夫. 中央法規. 東京. p322-324.

1994.

- 2) Mitsuchi, Masanori, Wichaidit, Pichai and Jeungnijirund, Saeree: Outline of soils of the northeast plateau Thailand -Their characteristics and constraints-. Agricultural Development Research Center in Northeast, Khon Kaen Province, Thailand. Technical Paper No.1, p13. 1986.
- 3) 桐田博充：野外における土壌呼吸の測定－密閉吸収法の検討. IV. スポンジを利用した密閉吸収法の開発. 日本生態学会誌, Vol.21, p119-127. 1971.

[国際共同研究等の状況]

[研究発表] なし



図1. 調査地の位置

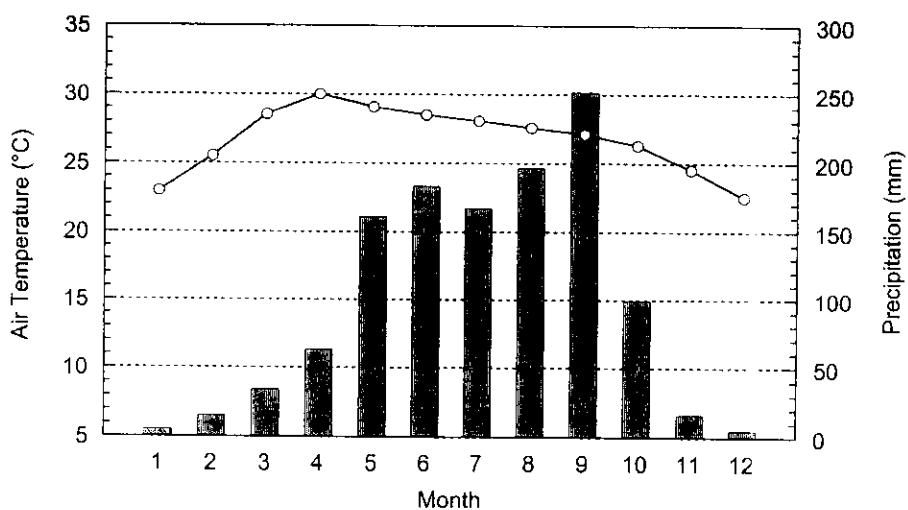


図2 タイ国コンケンの気象. 1967~1996年の平均(タイ国気象庁).

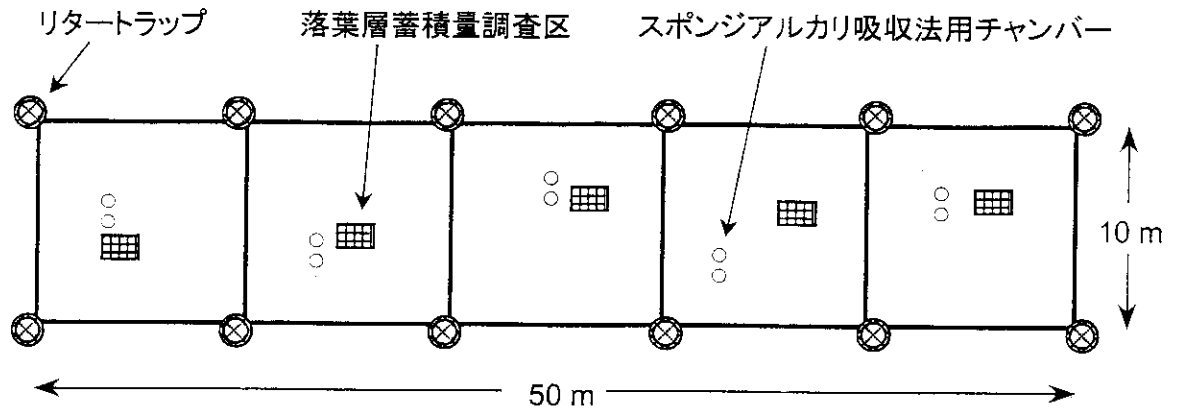


図3 調査区における各測定項目の設置地点.

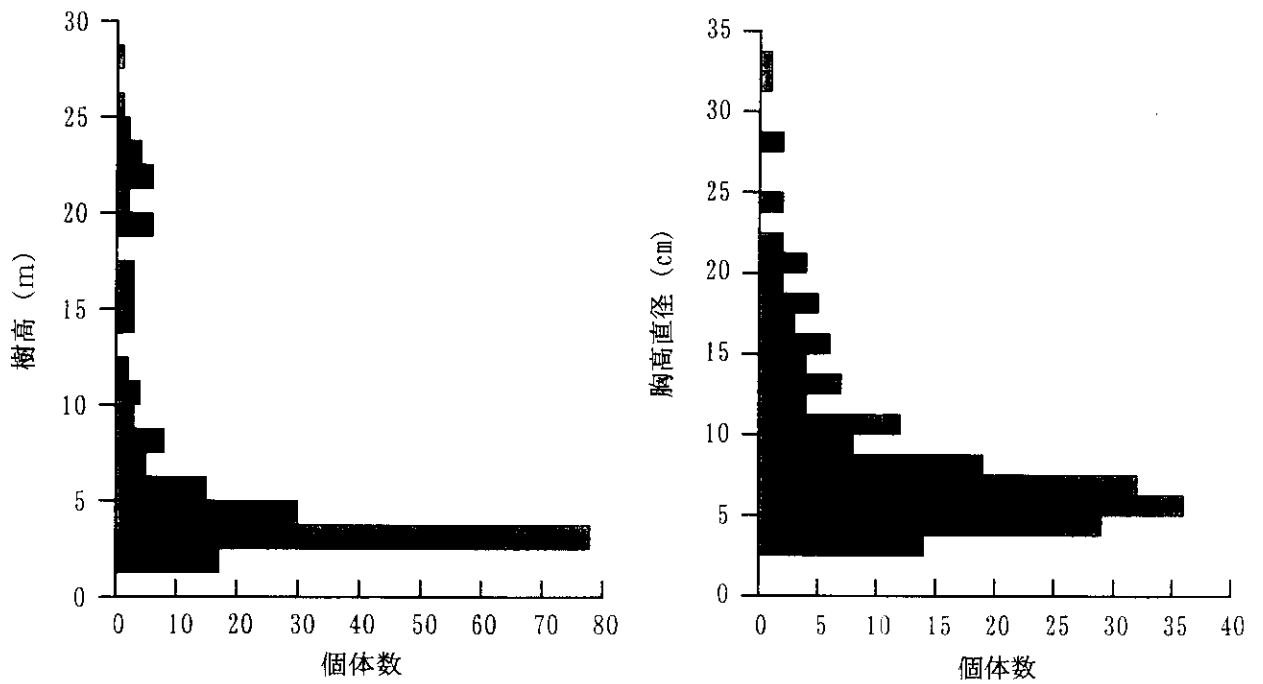


図4. 樹木の樹高および胸高直径の分布. 調査区: 50m×10m

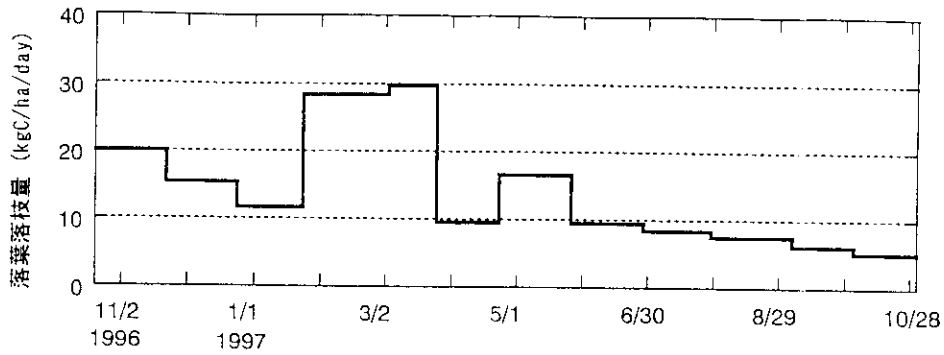


図5 タイ国コンケン熱帯モンスーン林における落葉落枝量

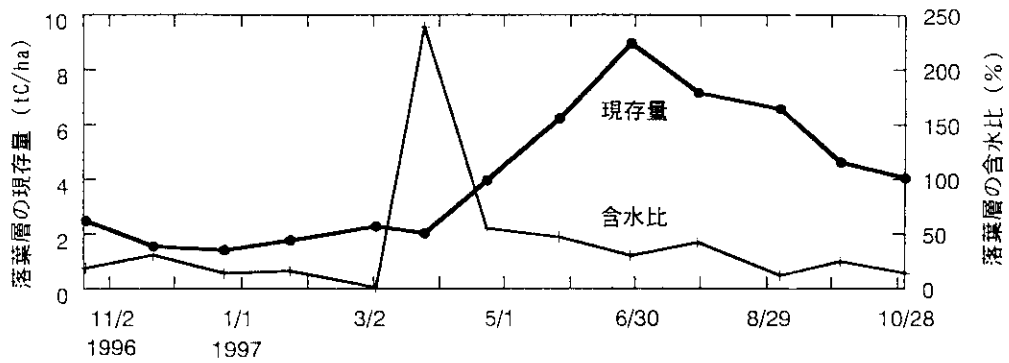


図6 タイ国コンケン熱帯モンスーン林における落葉層の現存量および含水比の変動

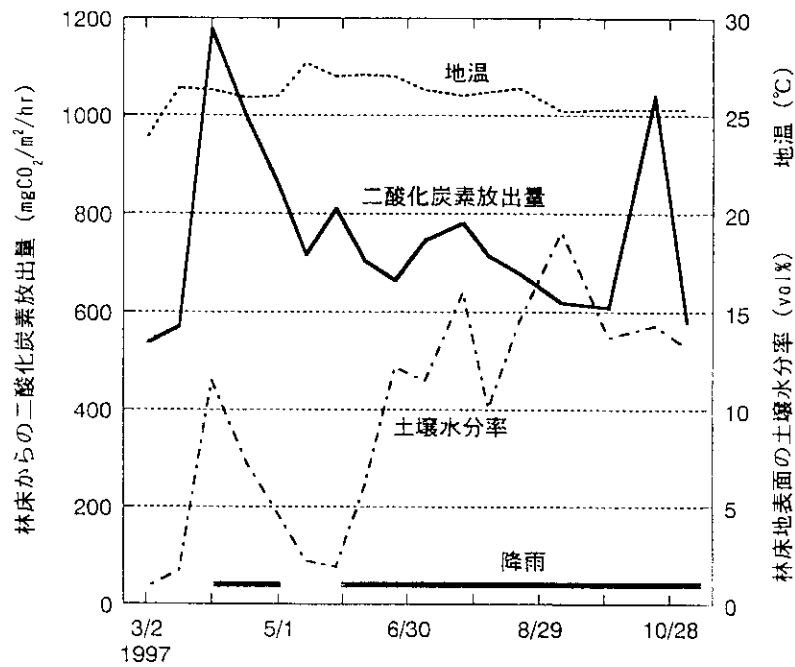


図7 タイ国コンケンの熱帯モンスーン林における林床からの二酸化炭素放出量と地温および土壌水分率の変化。

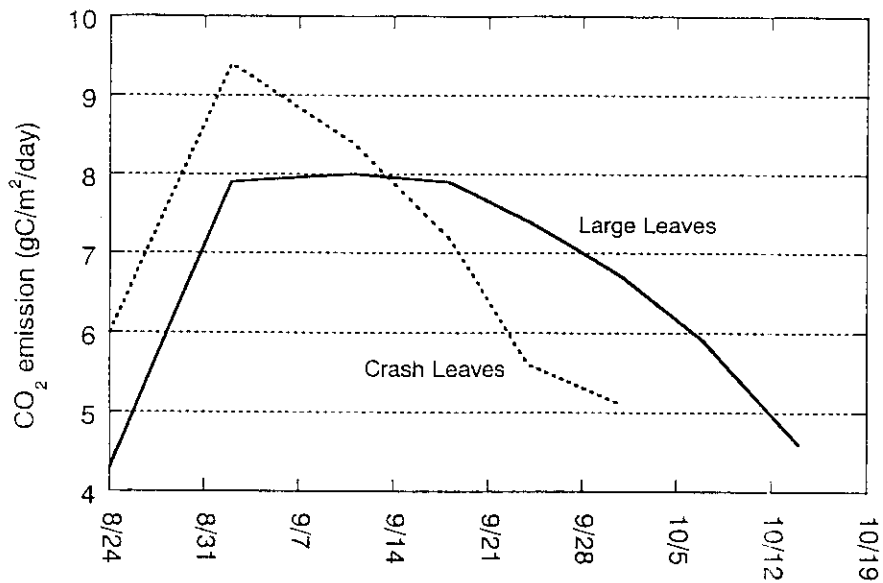


図8 タイ国コンケンのモンスーン林における落葉の分解に伴う二酸化炭素放出量。

実験に用いた落葉量は約20gであり、その10-15%が二酸化炭素となって放出された。大きいままの落葉と砕いた落葉の消失速度に違いがあったが、二酸化炭素になる割合には差がなかった。

表1. タイ国コンケンの熱帯季節林における細根量

| plot | 細根 |
|------|-----------------------|
| 1 | 31.65 gDW/25cm x 25cm |
| 2 | 9.90 |
| 3 | 12.78 |
| 4 | 10.39 |
| 5 | 8.25 |
| 平均 | 14.59 gDW/25cm x 25cm |
| | 2,335 kgDW/ha |
| 炭素量 | 1.168 tC/ha |

細根の炭素率を50%と仮定

表2. タイ国コンケンの熱帯季節林における土壌中の炭素現存量

| Depth | 層厚 | C含有率 | 容積重 | 土重 | 層C量 |
|---------|----|--------|---------|-------|--------|
| cm | cm | mg/gDW | g/100cc | t/ha | tC/ha |
| 0-5 | 5 | 6.1 | 148.7 | 743.5 | 4.535 |
| 5-15 | 10 | 5.0 | 148.7 | 1487 | 7.376 |
| 15-30 | 15 | 3.0 | 158.6 | 2379 | 7.137 |
| 30-50 | 20 | 1.9 | 165.8 | 3315 | 6.299 |
| 50-80 | 30 | 1.7 | 163.8 | 4914 | 8.452 |
| 80-100 | 20 | 2.1 | 178.6 | 3571 | 7.642 |
| 0-100cm | | | | | 41.440 |

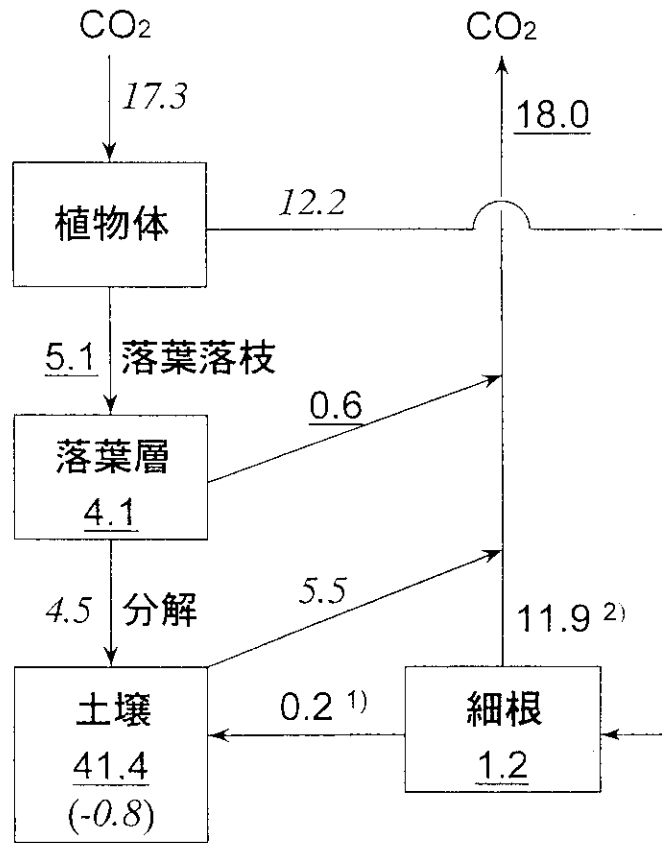


図9 タイ国コンケンの熱帯モンスーン林における炭素循環
 (現存量：tC/ha, 循環量：tC/ha/yr)。
 下線は測定値より見積った。イタリックは差引で求めた。
 1) 細根の20%。2) 落葉層がなく、土壌が乾燥している状態
 では、土壌有機物の分解がなく、根の呼吸による二酸化炭素
 だけになると見なして見積った。