

卒業論文

コケ群集の一次生産速度測定法の検討

北九州市立大学 国際環境工学部

環境化学プロセス工学科

環境科学講座 原口研究室

山田 奈苗

目次

1 . 要旨	3
2 . 背景	4
3 . 目的	5
4 . 光合成測定装置	5
5 . 試料	6
5-1 試料採取地点	
5-2 試料の培養	
6 . 測定	8
6-1 各試料の前処理	
6-2 光合成によるミズゴケの二酸化炭素吸収速度の測定方法	
6-3 各試料の後処理	
7 . 結果および考察	9
7-1 イボミズゴケの光-光合成曲線	
7-2 チャミズゴケの光-光合成曲線	
7-3 二酸化炭素の濃度変化に対するみかけの光合成速度の依存性	
7-4 イボミズゴケの光合成の日変動	
7-5 チャミズゴケの光合成の日変動	
8 . まとめ	13
9 . 引用文献	15
10 . 付録	

1. 要旨

イボミズゴエケとチャミズゴケを研究室内で培養し、同化温度 25℃、飽和蒸気圧状態で光 - 光合成曲線を作成するために、各ミズゴケの光合成による二酸化炭素の吸収速度を赤外線ガスアナライザーを用いて測定した。一般的には光 - 光合成曲線は直角双曲線に近似されたカーブを描くが、本測定では得られず、数値にばらつきがあり傾向が見られなかった。その要因の 1 つとして、各ミズゴケの光合成の日変動が関係すると仮説をたて、概日リズムの有無を確認するため、一定の光合成有効波長 (PAR) の光量子密度の下で、24 時間二酸化炭素の吸収速度を測定した。その結果、どちらのミズゴケも変動が見られ、光の有無に関係なく光合成を行うこと (free-running) がわかった。よって、光合成速度を測定する際には、この変動も考慮に入れるべきである。

Abstract

Sphagnum papillosum Lindb. and *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr was cultivated in the laboratory and Carbon dioxides concentration was measured under conditions of temperature 25℃ and a regular amount of moisture to create optical-photosynthesis curve. Usually, the curve increase when the light intensity increased, but this experiment did not show such a curve. And so, I thought circadian rhythm affects photosynthetic rate so that I measured the circadian rhythm. In the result, each sphagnum showed time period so that I understood each ones was free-running regardless of with or without light. So, I thought we must consider the circadian rhythm when net photosynthetic rate is measured.

2. 背景

人類の化石燃料の消費による大気中の二酸化炭素濃度の増加は生物の影響により緩和されている。生物活動によって二酸化炭素の増加は半分程度に抑えられている。その生物の中で北半球に卓越する光合成生物が重要であることが分かっている (G. E. Nichols, 1918a)。現生の森林については、二酸化炭素固定の観点からはやや否定的なデータが集まりつつあり、注目すべき生物の中に、アラスカやシベリアの湿地帯に多く、過去に石炭の起源植物として炭素固定の実績があるミズゴケがあげられる (G. E. Nichols, 1918b)。

コケ植物は一次遷移の初期に植物群落を形成し、海水中を除いたあらゆる場所で生育している。寿命は 10～20 年で、緑化に利用できる植物の中では比較的寿命が長い。また、根がなく、土壌も薄くてすむ為、建物を傷めにくく、緑化に最適だといえる (Akiyama, 2002)。

コケの中でもミズゴケ類は泥炭地を形成する主要な植物である。枯死した後も泥炭となり、二酸化炭素を固定して蓄積する役目もあり、大気中の炭素量を調節する機能をもっている。その特性を活かして緑化に利用する場合、以下の利点があげられる。

土壌を必要としない

コケ植物は根がなく、本来基物に張り付くために、その多くは仮根 (rizoid) と呼ばれる組織の活着作用によって支えられているので土壌を必要としない。又、この組織によって個体 (植物体) 同士を結びつけ、様々な基物に、そして様々な種類のコケ植物がそれぞれの環境に適応して群落を形成し生育している。

乾燥に強い、雨水だけで十分なものもあり管理が容易

コケ植物の中には体の中に水分を蓄える機能を持った種類もあるが、多くは群生することにより、1 本 1 本の植物体が空気に触れる面積を少なくし、全体として湿度を保つようにしている。さらに、体から水分が失われると、光合成も呼吸も停止して眠りの状態になり、水分が与えられると再び活動を開始する。葉の先が丸まっているカモジゴケのように、葉の間に少しでも長時間水分を保持させるものや、スギゴケのように乾燥すると萎むことによって水分の蒸散を防ぐものなどがある。コケ植物の細胞は非常に薄く水分が失われやすいため、逆に少ない水分が与えられるだけでもすぐに活動ができるようになる。

コンクリート、アスファルト等の無機質の壁面の緑化ができる

通常緑化というと草花や木を植えたりする。つまり今の技術というのは例えばコンクリート面など無機質な空間に土を入れて緑化としてしまうのが現状である。しかし、自然摂理から言えば、最初は菌類、次に藻やコケが繁殖し、微生物や小動物などが入り込んで様々な草花が生えてくるものである。それを急に土を入れ込んでしまう為にコンクリート面等の無機質な部分を緑化することが困難であった要因と考えられる。しかし、コケであれば無機質の場所でも育つ。道端などを見るとコンクリート面の上にもコケは生えていること

がある。それだけコケは環境に適応する生命力の強いものといえる。つまり、無機質な基盤には緑化資材としてコケは最も適した植物である。

軽量である為、構造物に負担をかけることなく維持可能

コケは芝生やランドカバーの草、庭木などと異なり、根がはらない為土壌を大量に必要としない。屋上緑化の最大の問題は、重くなりすぎてビル等の構造を頑丈にしなければならぬ点である。コケを使用すると土を多く必要としない為、軽量化することができるということが期待されている。しかし、水やメンテナンスの問題がまだ残っている。

また、ミズゴケの生理学的特性はまだ十分解明されていない為、緑化に利用した場合の環境問題を改善する具体的効果は十分に評価されていない。

3. 目的

悪環境にも生育できるコケ植物の種類や生理、生態、形質などの特徴を探ることによって、コケ植物が地球上の環境に、どのような役割を担っているのか、又、直接的に他の生物や人類にどのような効果や影響を与えているのか等を知る事ができる。そして、それらを手がかりに、人為的な利用が可能な範囲を特定し、更には自然はなし得ない機能を補充することによって、これまでの環境改善技術では解決されなかった場所への適用を可能にさせることができる。

そこで本研究では、光合成測定装置を組み立て（後述）湿原での優占度が高い2種のミズゴケ（*Sphagnum papillosum* Lindb.と *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr）を選択して、コケ植物の群集が二酸化炭素を固定する量を評価する測定法について検討した。

4. 光合成測定装置

以下のような光合成測定装置を組み立てた。外気から圧縮空気を通気し、流量計、バルブ、サンプルの入ったプラスチック製の同化箱を通った後の二酸化炭素濃度と、通過前の二酸化炭素濃度、つまり同化箱を通過せずに直接圧縮空気の二酸化炭素濃度を赤外線ガスアナライザーで測定した。赤外線ガスアナライザーは盟和商事株式会社の LI-840 CO₂/H₂O アナライザーを使用した。同化箱は 13cm × 10cm × 4.5cm のものを使用した。同化箱の外の容器には 100L の水をはり、光源からの熱線による同化箱内の温度上昇を防いだ。光源には 500W のハロゲンランプを 4 個使用した。

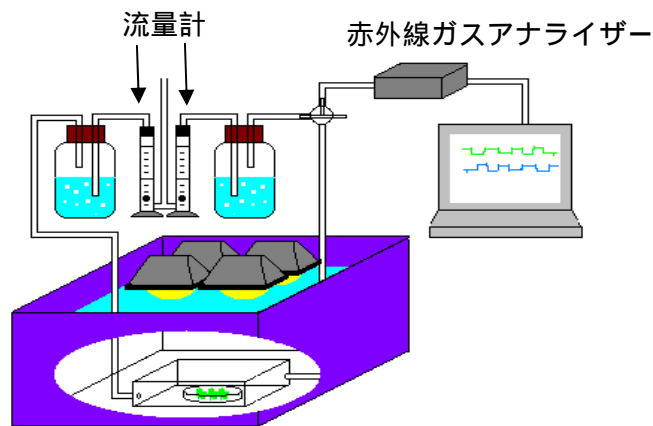
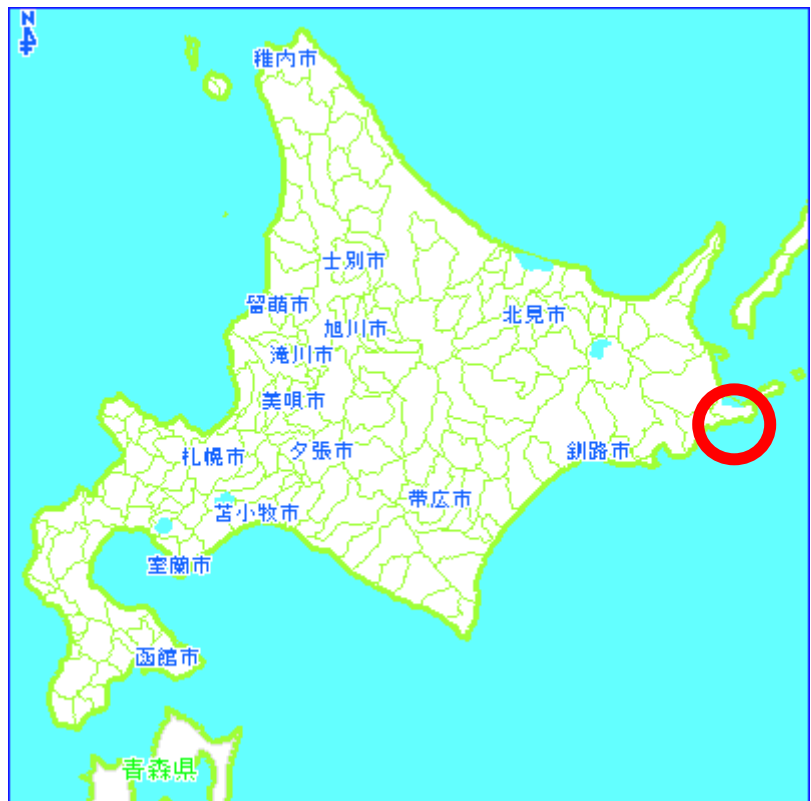


図1 光合成測定装置

5. 試料

5-1 試料採取地点

2005年6月15日に北海道東部、根室市の別当賀湿原(43°12'49.6"N、145°27'58.2"E)でチャミズゴケを、同年6月16日に同市の春國岱(43°12'00.1"N、145°31'07.4"E)でイボミズゴケをポリエチレン製手袋で採取し、ジッパー付のポリエチレン袋に入れ密閉した。春國岱は根室半島の付け根に位置し、砂丘(砂州)となっている。海岸側は湿地、中央部にはアカエゾマツの天然の森が広がる。タンチョウや白鳥、アカゲラ、クマガラ、シジュウカラ、オジロワシ等、200種以上の鳥類が生息する。



根室市の特徴

地理

北海道の最東端、東経145°21'から146°11'。北緯43°09'から43°38'の間で、東西に70Km、南北に10Km、東西に細長く太平洋に突き出た根室半島の全域と、半島の付け根辺り、北方領土の歯舞諸島を市域とする。

気候

気温は-15.8 ～ 28.6 。5月下旬にシマザクラの花が日本で一番遅く咲く。夏は真夏日を超えることが少ない。また海霧の日が多く、気温の低い日が続く。夏の平均気温は17 前後。冬は平均-4 前後で、風が強い。1月から3月下旬まで根室湾は沿岸結氷や流氷に閉ざされる。

地形

概ね低平な隆起海蝕台地で、山岳及び大きな河川はなく、市の中心部は透遠な高原の一部であるため、地形の高低があり、街路は緩やかな坂道が多い。陸地はほとんど平坦で牧畜に適し、半島の東端納沙布岬は暗礁が多くあり、加えて濃霧が深く航海上の難所として知られている。丘陵に小川が入り交じって大きな河川はなく、わずかにオンネベツ川、別当賀川を最大にホロニタイ川の小河川があるに過ぎない。

地質

地域の大部分が千島火山系摩周岳に由来する火山噴出物が堆積して形成された風積火山性土で、土性は一般に泥炭土を除き火山灰性土壌である。



写真左:イボミズゴケ *Sphagnum papillosum* Lindb.

右:チャミズゴケ *Sphagnum fuscum* (Schimp) Klinggr

5 - 2 試料の培養

試料採取後、3 設定の冷蔵庫で保存後、室内温度 25 、光合成有効の光量子密度波長約 40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の蛍光灯で8:00～20:00(12L12D)照射した状態で、実験室内で培養した。常にイオン交換水で浸されるように、夏季には週に1回程度、冬季には1日に1回給水した。

6. 測定

6 - 1 各試料の前処理

測定するチャミズゴケ、イボミズゴケの先端 1cm (capitula) を切り取り、それぞれシャーレに等間隔で並べ、イオン交換水でミズゴケを半分程度浸した。測定前に 24 時間以上培養時と同じ光で照射し続けた。

6 - 2 光合成によるミズゴケの二酸化炭素吸収速度の測定方法

前処理してある試料の入ったシャーレを同化箱に入れ密閉し、光合成測定装置の水槽に沈めた。同化箱内に圧縮空気を流速 0.6 L min^{-1} で通気し、同化箱内は水蒸気飽和状態にした。測定を開始する前に、同化箱内の空気を全て入れ替えて安定するまで約 30 分間圧縮空気を通気した状態にし、赤外線ガスアナライザーの二酸化炭素濃度測定値が安定したことを確認後、測定値の読み取りを開始した。

光合成有効波長 (PAR) の光量子密度 $1400\text{ }\mu\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ から $100\text{ }\mu\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ へと変化させて、赤外線ガスアナライザーで各段階における同化箱内を通過する前後の二酸化炭素濃度を測定した。目的の濃度を測定後、同化箱から試料を取り出し、ブランク測定を同様に行った。

6 - 3 各試料の後処理

測定後、サンプルを 110℃ で 24 時間乾燥させ、乾燥重量を測定した。ミズゴケ群落としての光合成速度を把握する為、まずは各試料の単位乾燥重量あたりの二酸化炭素のモル数と流量から光合成速度を算出し、横軸に光合成有効の光量子密度、縦軸に光合成速度を示した光 - 光合成曲線を作成した。

7. 結果および考察

7-1 イボミズゴケの光 - 光合成曲線

イボミズゴケの光 - 光合成曲線を図2に示した。

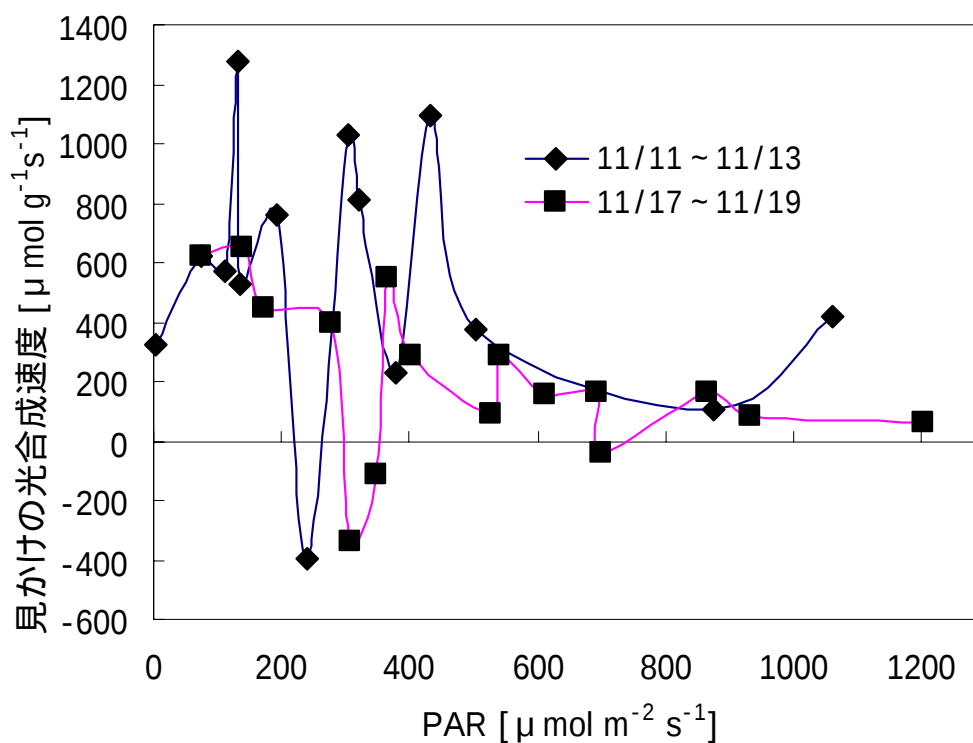


図2 イボミズゴケの光 - 光合成曲線

一般的には直角双曲線で近似される光 - 光合成曲線が得られるが、本測定ではどちらのミズゴケにおいても得られず、数値にばらつきがあり、異なったものとなった。つまり、本測定では PAR の光量子密度と光合成速度の関係はみられなかった。イボミズゴケの二酸化炭素吸収速度の測定は、各 PAR の光量子密度において、レファレンスと同化箱内の二酸化炭素濃度を各々1時間ずつ測定し、2~3日にわたって1本の光 - 光合成曲線を作成した。一般的には二酸化炭素の濃度変化に伴い、光合成速度が変動することが知られている。本測定で用いた圧縮空気は研究棟の一階から流れており、人間の活動によって二酸化炭素濃度が変動する。よって長時間の測定によって二酸化炭素濃度の変動があったことが、このようなばらつきのある光-光合成曲線となった要因の1つとなると考えられる。

7-2 チャミズゴケの光 - 光合成曲線

7-1 のイボミズゴケの光合成速度測定結果から、チャミズゴケでは短時間、およそ1時間以内に PAR の光量子密度全段階における二酸化炭素吸収速度の測定を行い、光 - 光合成曲線を作成した。得られた光 - 光合成曲線を図3に示した。しかし、この測定方法でも直角双曲線で近似される光-光合成曲線は得られなかった。よってチャミズゴケにおいても、本測定では PAR の光量子密度と光合成速度の関係はみられなかった。

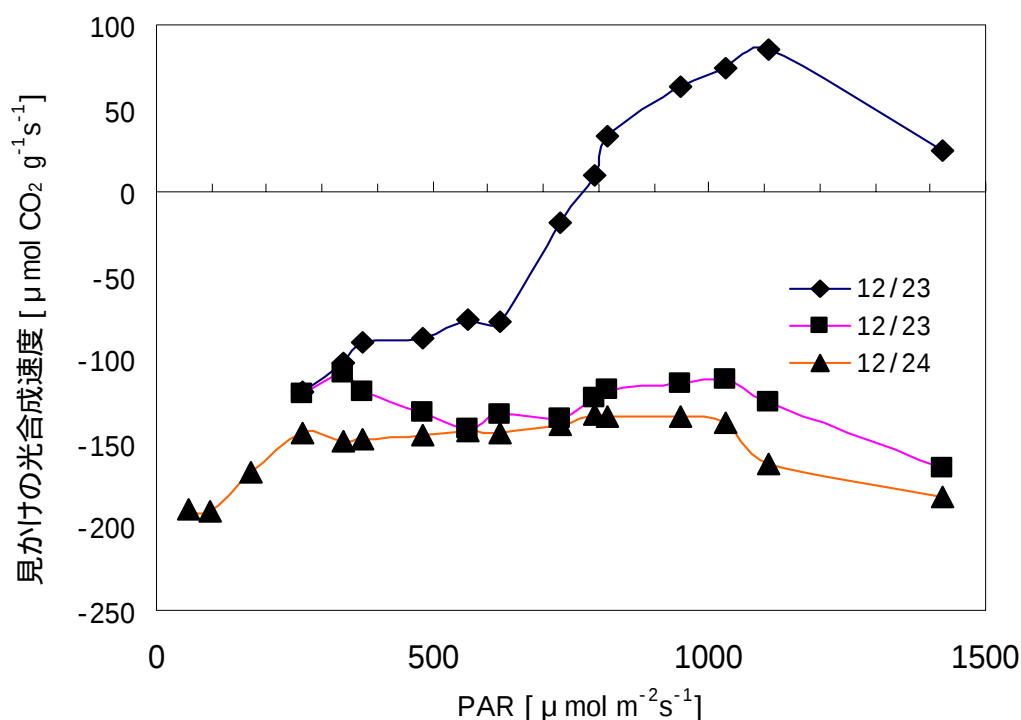


図3 チャミズゴケの光-光合成曲線

7-3 二酸化炭素の濃度変化に対するみかけの光合成速度の依存性

7-2 の測定結果から、二酸化炭素濃度の変動に伴う応答も見られなかった。チャミズゴケで得られた光 - 光合成曲線は直角双曲線で近似されるものではなかった。この3本の光-光合成曲線では短時間で測定を行ったが、測定時刻が異なる。よって、測定時刻によってみかけの光合成速度が変化するのではないかと考えた。

7-4 イボミズゴケの光合成の日変動

7-3 の考察から、各ミズゴケに光合成の日変動があると仮説をたて、光合成の概日リズムの有無を確認した。通気流速と温度条件は光合成速度測定時と変えずに、ミズゴケが光障害によって光合成速度が一定となる前の PAR の光量子密度約 $520 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に一定にした条件下で、レファレンスを 30 分間、同化箱内を通過した後の二酸化炭素濃度を 30 分間と交互にスイッチを切り替え、24 時間測定を行った。これを 1 週間おきに 3 回行った。この測定では、測定時の 24 時間のみ約 $520 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ で照射、測定前後の 6 日間は 4-2 で説明した培養条件下においた。イボミズゴケの光合成の日変動を図 4 に示した。

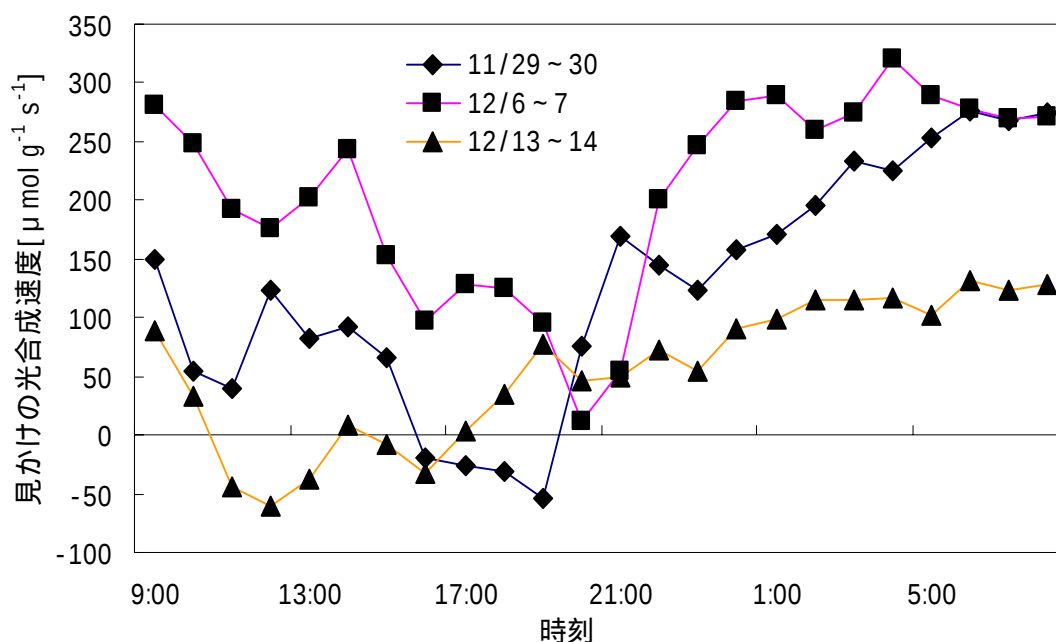


図4 イボミズゴケの光合成活性の日変動

測定値に違いはあるが、みかけの光合成速度の増減が見られ、日変動が確認できた。また、1 週間おきに少しずつみかけの光合成速度の増減の変動がずれており、光合成活性の周期が $24 + \alpha$ 時間であると考えられる。

7-5 チャミズゴケの光合成の日変動

イボミズゴケと同様に、概日リズムの有無を確認するために行った測定結果を図 5 に示した。

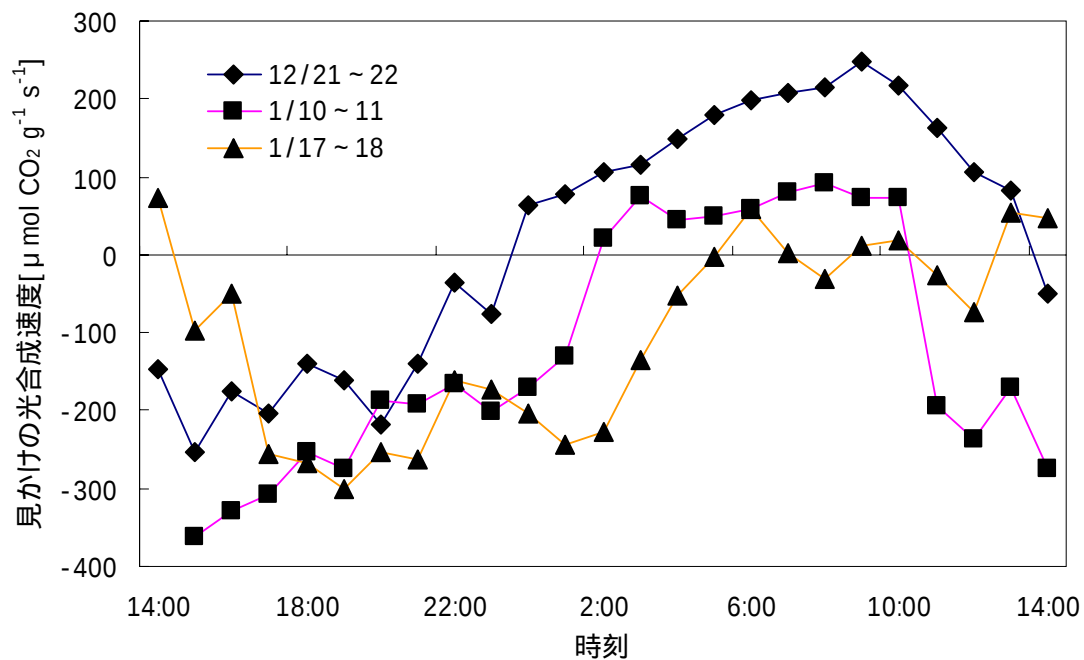


図5 チャミズゴケの光合成活性の日変動

図5より、イボミズゴケより更に顕著に光合成の日変動があることを確認できた。イボミズゴケにおいても、周期は $24 + \alpha$ 時間であると考えられる。また、この日変動の測定においてもみかけの光合成速度と外気の二酸化炭素濃度の変化を比べても、二酸化炭素濃度変化に対するみかけの光合成速度の依存性がないことが確認できた(図6、図7)

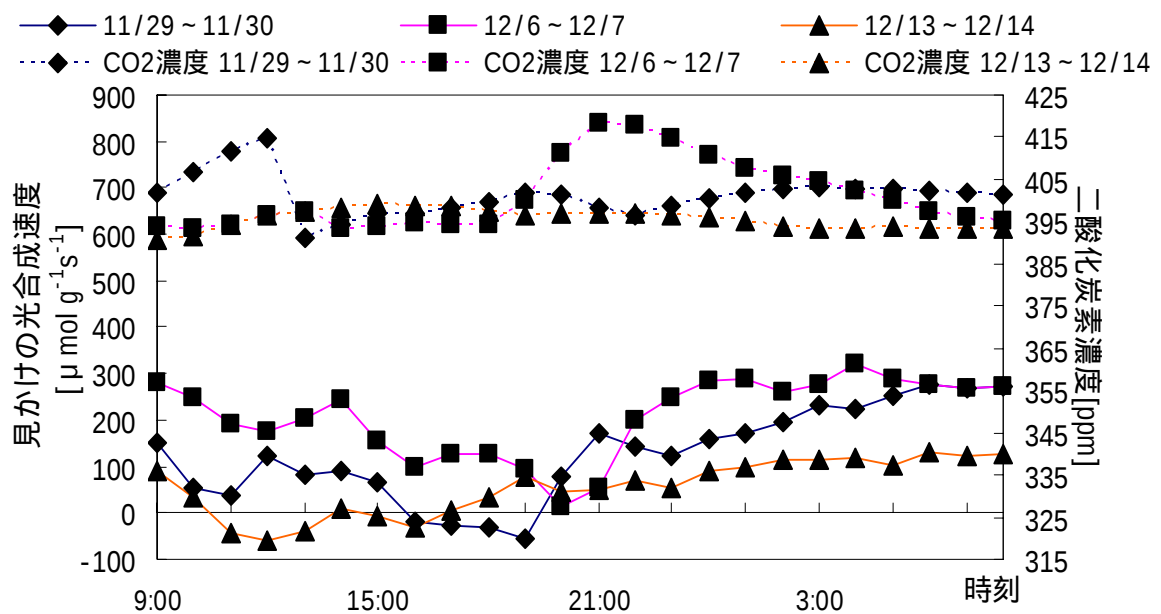


図6 イボミズゴケの各時刻における光合成速度と二酸化炭素濃度

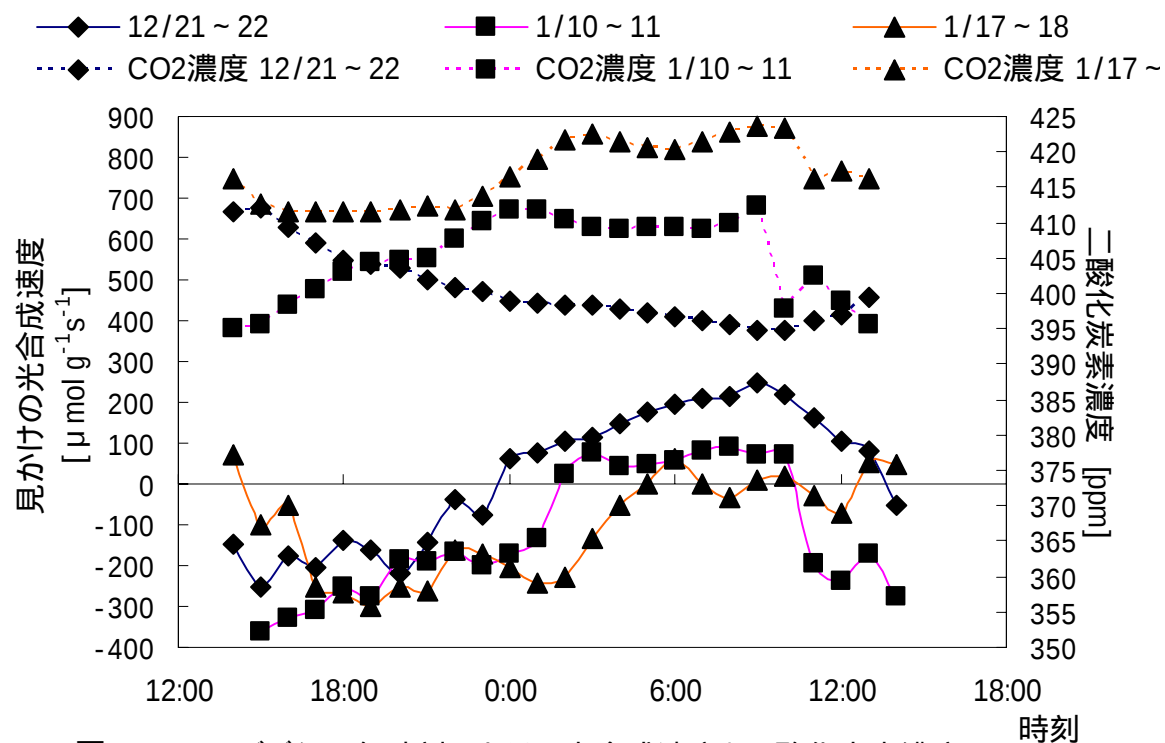


図7 チャミズゴケの各時刻における光合成速度と二酸化炭素濃度

8. まとめ

現在、光合成速度の概日リズムは藻類においては報告されているが、蘚類での報告は見られない。本測定によって、昼夜の光強度に依存しない光合成のリズム (free-running) の存在が明らかになった。従って、コケ群集の一次生産速度を評価する為には、このリズムも考慮しなければならないことがわかった。各 PAR の光量子密度における free-running を測定し、光 - 光合成曲線を作成する為に二酸化炭素濃度を測定した時刻と照らし合わせて、光 - 光合成曲線を作成しなければならないということだ。

本測定法では、研究室内で容易に試料の光合成速度を測定することが可能である。しかし、試料の採取地から実験室までの輸送方法や、実験室での培養条件によって試料の光合成活性が変化する可能性も考えられる。しかし、これまで研究者によって様々な輸送条件がとられているが、その根拠は論文の中にはあげられていない (Ino, 1991)。

測定機器の発展や輸送力の増大により 1980 年代から現地での光合成速度測定が可能になり、数回の野外測定が行われている。しかし、観測隊の行動スケジュールの都合によるために野外測定は十分な期間行われていない (Ino, 1991)。実験室での測定結果と野外測定の結果から光強度、温度と光合成速度、暗呼吸速度を重回帰させ、回帰式から生育環境によ

る生理特性の相違を考察したり、純生産量の推定を行ったり必要がある。

本測定に利用した赤外線ガスアナライザーは二酸化炭素濃度と水蒸気を識別して濃度を表示する。しかし、二酸化炭素濃度に僅かに水蒸気濃度も含まれている可能性がある。そこで、ブランク測定時のレファレンスとサンプル間の二酸化炭素の濃度差を横軸、水蒸気濃度を縦軸として、水分量補正の為に一次近似式を作成した（図7）。

この近似式から二酸化炭素の濃度をより正確な値として示すことができる。

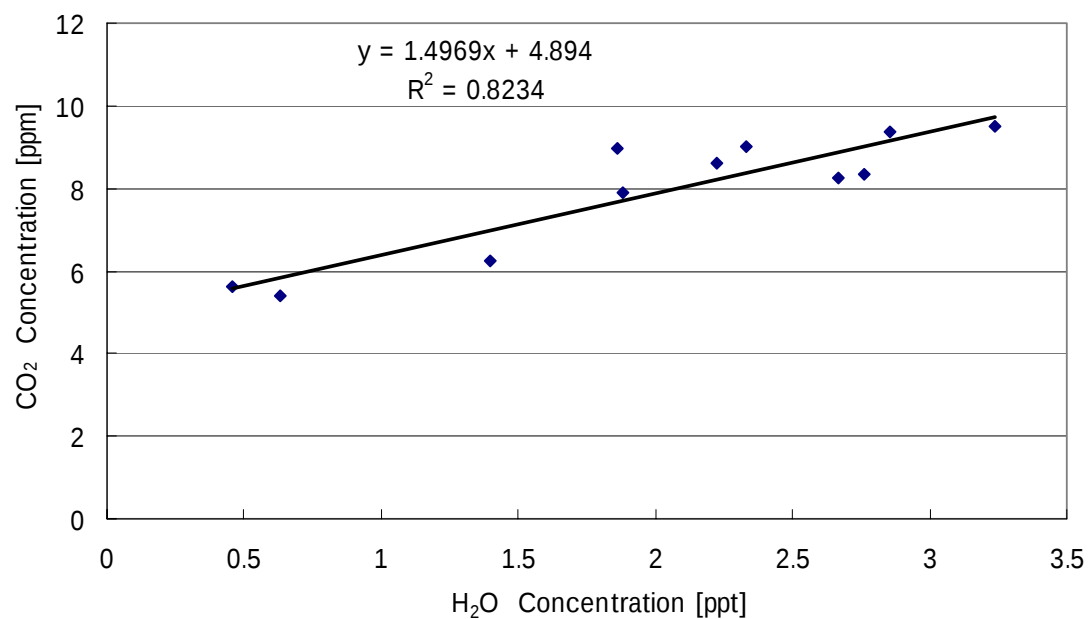


図7 水分量補正

9 . 引用・参考文献

引用文献

G. E. Nichols. 1918a. War work for bryologists. The Bryologist 21: 53-56.

G. E. Nichols. 1918b. The American Red Cross wants information regarding supplies of surgical Sphagnum.

Ino, Y. 1991. Photosynthesis of Antarctic mosses and lichens. Japanese Journal of Ecology 41(2):149-158

参考文献

L. C. Bliss and F. E. Wielgolaski. 1973. Primary production and production processes, tundra biome: proceedings of the conference, Dublin, Ireland, April 1973 Tundra Biome Steering Committee.

Ino, Y. 1991. Photosynthesis of Antarctic mosses and lichens. Japanese Journal of Ecology 41(2):149-158

Haraguchi, A. *et al.* 2003. The pH dependence of photosynthesis and elongation of *Sphagnum squarrosum* and *S. girgensohnii* in the *Picea glehnii* mire forest in Cape Ochiishi, north-eastern Japan: Aquatic Ecology 37: 101-104

秋山弘之. 2002. 吸収力抜群！ミズゴケの利用法 . pp. 109-112, 秋山弘之（編）, コケの手帳 . 研成社 , 東京 .

W.C. Oechel and N.J. Collins. Seasonal patterns of CO₂ Exchange in bryophytes at Barrow, Alaska. 197-203

L-G. Johansson and S.Linder. 1980. Photosynthesis of sphagnum in different micro habitats on a subarctic mire. Ecol. Bull. (Stockholm) 30:181-190

R. Pettersson and A.J.S.Mcdonald. 1992. Effects of elevated carbon dioxide concentration on photosynthesis and growth of small birch plants (*Betula Pendula* Roth.) at optical nutrition. Plants, Cell and Environment 15:911-919

森川靖、井上、佐々木英彦. 1980. いろいろな光強度で生育した *Shorea talura* 苗の光-光合成曲線. 林試研報 Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. 309:109-115

R.G.Turner. 1993. Peat and People: A Review. *Advances in Bryology* 5:315-328

Hakan Rydin. 1993. Mechanisms of Interactions Among *Sphagnum* Species Along Water-Level Gradients. *Advances in Bryology* 5:153-185

10 . 付録

表1 イボミズゴケの光 - 光合成曲線のための二酸化炭素濃度測定結果

測定1回目(2005 11/11 ~ 13)		測定2回目(2005 11/17 ~ 19)	
PAR [$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$]	CO ₂ Concentration [ppm]	PAR [$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$]	CO ₂ Concentration [ppm]
3.91	1.6567	75.33	3.1893
75.93	3.1765	139.41	3.3167
110.72	2.9018	170.54	2.2787
130.59	6.5336	278.4	2.0165
135.47	2.6752	306.1	-1.7428
193.41	3.8809	346.4	-0.5862
240.0	-2.0200	363.6	2.8014
305.4	5.2433	402.4	1.4719
320.5	4.1518	525.2	0.4736
379.8	1.1646	540.3	1.4850
433.5	5.5887	611.2	0.8158
501.9	1.9137	691.5	0.8310
876.1	0.5555	700.2	-0.1867
1061.5	2.1224	864.7	0.8370
		930.9	0.4373
		1202	0.3110

表2 イボミズゴケの光 - 光合成曲線のための二酸化炭素濃度測定結果

測定1回目(2005 12/23) 測定2回目(2005 12/23) 測定3回目(2005 12/24)

PAR [$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$]	CO ₂ Concentration [ppm]	CO ₂ Concentration [ppm]	CO ₂ Concentration [ppm]
56.65			-2.7579
96.61			-2.7728
172.48			-2.4366
263.8	-1.7302	-1.7461	-2.0815
337.9	-1.4864	-1.5784	-2.1556
372.9	-1.2971	-1.7380	-2.1476
480.1	-1.2670	-1.9147	-2.1023
563.2	-1.1041	-2.0616	-2.0734
621.1	-1.1279	-1.9274	-2.0897
731.3	-0.2596	-1.9600	-2.0249
794.4	0.1520	-1.7860	-1.9292
817.7	0.4879	-1.7189	-1.9410
948.8	0.9231	-1.6584	-1.9523
1031.2	1.0793	-1.6213	-1.9933
1105.7	1.2282	-1.8201	-2.3610
1421.4	0.3583	-2.3851	-2.6487

表3 イボミズゴケの光合成の日変動

1 回目(2005 11/29 ~ 30) 2 回目(2005 12/6 ~ 7) 3 回目(2005 12/13 ~ 14)

Time [h:mm]	CO ₂ Concentration [ppm]	CO ₂ Concentration [ppm]	CO ₂ Concentration [ppm]
9:00	4.7039	8.7882	2.7706
10:00	1.7172	7.7906	1.0119
11:00	1.2187	6.0019	-1.3670
12:00	3.8735	5.5241	-1.9090
13:00	2.5791	6.3480	-1.1696
14:00	2.8659	7.6113	0.2865
15:00	2.0601	4.8095	-0.2554
16:00	-0.6151	3.0243	-1.0182
17:00	-0.8408	3.9942	0.1068
18:00	-0.9931	3.9100	1.0776
19:00	-1.6934	2.9789	2.4492
20:00	2.3920	0.3890	1.4374
21:00	5.3050	1.6821	1.5678
22:00	4.5271	6.2816	2.2556
23:00	3.8526	7.7251	1.7011
0:00	4.9227	8.9187	2.8474
1:00	5.3723	9.0406	3.0950
2:00	6.1488	8.1601	3.6200
3:00	7.3083	8.6204	3.5921
4:00	7.0703	10.0441	3.6618
5:00	7.9323	9.0390	3.1898
6:00	8.6400	8.6943	4.1462
7:00	8.3793	8.4271	3.8640
8:00	8.5739	8.4733	4.0326

表4 チャミズゴケの光合成の日変動

1回目(2005 11/29 ~ 30) 2回目(2005 12/6 ~ 7) 3回目(200512/13 ~ 14)

Time [h:mm]	CO ₂ Concentration [ppm]	CO ₂ Concentration [ppm]	CO ₂ Concentration [ppm]
14:00	-2.1355		1.0419
15:00	-3.6652	-5.2512	-1.4250
16:00	-2.5293	-4.7878	-0.7350
17:00	-2.9717	-4.4786	-3.6935
18:00	-2.0312	-3.6850	-3.8976
19:00	-2.3511	-3.9767	-4.3785
20:00	-3.1720	-2.7162	-3.6653
21:00	-2.0425	-2.7912	-3.8088
22:00	-0.5297	-2.4103	-2.3330
23:00	-1.1012	-2.9081	-2.5144
0:00	0.9201	-2.4687	-2.9387
1:00	1.1107	-1.9078	-3.5245
2:00	1.5515	0.3152	-3.2845
3:00	1.6761	1.0809	-1.9559
4:00	2.1644	0.6388	-0.7451
5:00	2.5889	0.7108	-0.0310
6:00	2.8645	0.8473	0.8637
7:00	3.0080	1.1599	0.0178
8:00	3.1325	1.3359	-0.4560
9:00	3.5897	1.0688	0.1503
10:00	3.1534	1.0500	0.2696
11:00	2.3747	-2.8076	-0.3820
12:00	1.5263	-3.4377	-1.0591
13:00	1.1845	-2.4836	0.7721
14:00	-0.7273	-3.9834	0.6945

LI-840 CO₂/H₂O アナライザー 仕様

測定範囲	: 0 ~ 3000ppm(CO ₂)、 0 ~ 80ppt(H ₂ O)
精度	: ± 1.5% (CO ₂ 、 H ₂ O)
ノイズ	: CO ₂ < 1.0ppm pk-pk ノイズ 370ppm(1 秒シグナル平均値) : H ₂ O < 0.01ppt pk-pk ノイズ 10ppt(1 秒シグナル平均値)
ゼロドリフト	: CO ₂ < 0.15ppm/ : H ₂ O < 0.003ppt/
スパンドリフト	: CO ₂ < 0.03%/ : H ₂ O < 0.03%/
圧縮補正範囲	: 15kPa ~ 115kPa
最大ガス流量	: 1 リットル / 分
アナログ出力	: 0 ~ 5V、 0 ~ 2.5V、 4 ~ 20mA
DAC 分解能	: 14 bits
消費電源	: ウォームアップ中 1.2A 12V (14W) : ウォームアップ後 0.3A 12V (3.6W)
供給電源	: 12 ~ 30VDC
動作温度範囲	: - 20 ~ + 45
相対湿度範囲	: 0 ~ 95%RH 但し結露しないこと
サイズ	: 22.23 × 15.25 × 7.62cm
重量	: 1 k g