

異なる植被条件下における太陽光分光特性の観測調査

星川和俊・鈴木 純
信州大学農学部

Observations of Solar Spectrum under Various Canopy

Kazutoshi HOSHIKAWA ・ Jun SUZUKI
Faculty of Agriculture, Shinshu University

Key words : Solar Flux, Multi Spectrum Density, Plant Canopy, Observation

太陽放射、分光特性、植被、観測

I. はじめに

太陽光エネルギーは、地球の気候・気象を支配し、生態系の根源となる光合成を支えている。地表に達する太陽光は、一般的に 300nm~3000nm の波長で、短波長側から紫外光(300~400nm)、可視光(400~700nm)、近赤外光(700~3000nm)に分けられる。可視光域は太陽放射全量の約半分を占める。光合成がこの波長を利用するので光合成有効放射(Photosynthetic Active Radiation: 以下、PAR と略す)と呼ばれる。PAR は植物や作物の生長・生理・発生と密接に関連し、農学や植物学分野において、多くの調査・検討が行われてきた。

近年注目されるようになった環境問題においては、到達する太陽エネルギー量の変化に加えて、一定波長帯や特定波長における太陽光の入・反射特性を明らかにすることが重要となっている。オゾン層破壊問題の場合、地表に達する紫外光の増加が懸念され、UV-A(320~400nm)、UV-B(280~320nm)の観測が各地で行われている。また、気候温暖化の問題でも、雲や人為起源ガスによる太陽光や地球放射を対象として、波長別の吸収・反射・散乱と放射強制力の推定が緊要な課題である。

ところで、太陽光エネルギーは、太陽の季節・日変化、大気パス、大気中のエアロゾル、雲などの大気構成物によって変化する。また、地形や地表を覆う植物や建物などの吸収、散乱、反射の影響も大きい。この結果、光の質と言うべき波長別の放射スペクトル(以下、分光特性と呼ぶ)は、照射を受ける地形、植生、建造物などの地被条件によっても大きく変わる。

以上から、地表近くの光環境は様々に変化し、気象をはじめ、人類を含めた動物や植物の生長、生理などと密接に関係し、その影響を及ぼしている。よって、地表に達する紫外光、可視光、近赤外光などの波長帯の特性に加えて、地表近くにおける太陽光の波長別強度や組成などの実態把握と質的变化のメカニズム解明が望まれる。

II. 研究目的

本研究では、異なる植被条件下における波長別の分光特性観測結果より、主として太陽光のスペクトル組成がどのような影響を受け、変化するかを明らかにすることを目的とした。

フィールド観測は、主として可視域を中心とする 300~1100nm の太陽光を対象として、トウモロコシ群落内外、樹冠に密度差がある針葉樹林内外の波長別放射エネルギーを測定した。この結果より、植被条件の相違が分光特性に及ぼす影響を検討し、地表の植被条件と太陽光分光特性との関係の一端を明らかにする。なお、本研究で対象とした 300~1100nm 放射光の起源は、太陽光の直達成分のほか、大気や地表面での太陽光の反射と散乱成分によるものがほとんどであると考えられたので、ここでは太陽光分光特性という言葉を用いる。

III. 調査方法

1. 調査内容

植被条件の違いと太陽光分光特性の関係を調査するために、表 1 に示す観測を夏季晴天日に実施した。調査はその対象と方法から、トウモロコシ群落

表1 調査方法と対象

調査名	トウモロコシ群落調査	森林樹冠下調査
目的	作物群落の可視光吸収による群落内外での分光特性変化とその日変化把握	樹冠密度の相違による分光特性変化の把握
調査方法	トウモロコシ群落内外(地面上 0.2m, 1.0m, 1.7m)の群落内3高度と群落外)での波長別光エネルギー測定、全天日射量、気温、湿度の測定	学部構内(中庭と演習林)の樹冠密度差のある樹林下と樹冠外における、波長別光エネルギー測定、観測はすべて地面上 0.2m で測定
調査場所・対象	信州大学農学構内研究圃場、トウモロコシ群落	信州大学農学構内中庭(アカマツ林)と構内演習林(アカマツ等の針葉樹)
観測日	2001.8.16 および 8.17	2001.8.1.および 8.3
観測条件	両日共に、午後2時過ぎまでは、ほぼ快晴、観測は直達光が雲で覆われない時点で測定、2時20分過ぎより雲の発生が多く、観測中断	観測時間は13時～14時30分、両日ともに観測時は雲量0.2以下、直達光が雲で覆われない時に観測を実施
備考	調査点の周囲は露地畑	演習林内の天空の開けた土場での観測も実施

調査と森林樹冠下調査の大きく二つに分けることができた。各調査の内容を次に詳述する。

1)トウモロコシ群落調査：この観測では、従来から農業生産分野で調査されてきた研究と同様に、作物による有効光合成放射の吸収と、群落内外での分光特性の日変化を明らかにする。

調査対象であるトウモロコシ群落を写真1に示す。トウモロコシはタイ国の食用品種(品種名は不詳)で、2本立ての播種後、そのまま生育させた結果、極めて繁茂した生育状況となった。草丈は4mに達し、図1の草丈ごとの葉面積指数(Leaf Area Index : 以下、LAI と略す)に示すように、分光測定を行った地上高さ 0.2m で 14、同 1.0m で 13、同 1.7m で 11 という大きな葉面積指数となった。

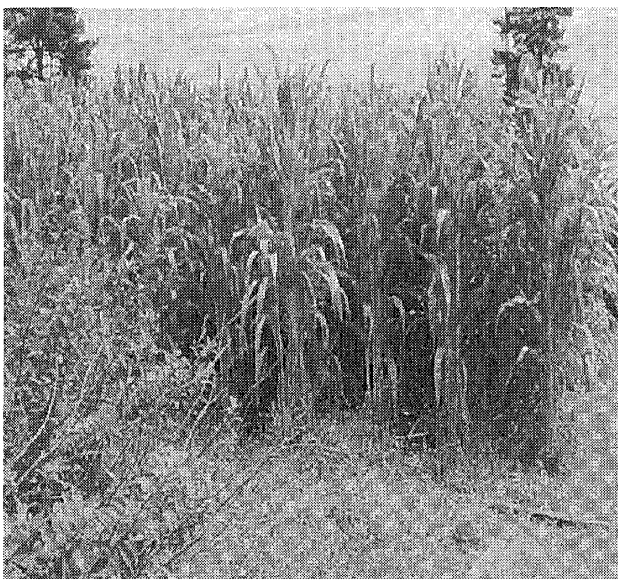


写真1 調査対象のトウモロコシ

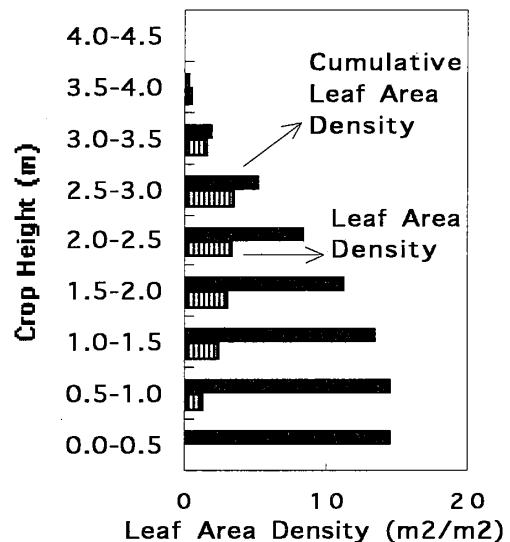


図1 トウモロコシの葉面積密度

この結果、作物群落の葉群による、太陽光の吸収・変質の効果が大きく表れる測定対象となったと考えられた。また、この作物群落調査の場合、群落内外における太陽高度の日変動の影響を検討するために、夕方までの観測を計画した。しかし、14時20分過ぎから雲が発生し、その後全天に雲が発達したので観測を中断した。

2)森林樹冠下調査：この調査は森林の樹冠や林縁が、地表面の光環境に及ぼす影響を明らかにしようとするものである。調査は農学部構内中庭の赤松林内(以下、中庭と呼ぶ)、ならびに演習林内の樹冠(以下、演習林と呼ぶ)において、分光スペクトルを測定した。中庭は、写真2に示すように高さ20m



写真2 調査対象の農学部構内中庭

前後の赤松が、7~10m間隔で2列並び、立木の密度が比較的粗い場所である。また、下枝、下生えもなく、木漏れ日が入る比較的明るい木陰になっている。

演習林は、写真3に示すように、高さ25、26mの赤松や落葉松などの針葉樹が密集している。さらに下枝、灌木も多く、直達光が地表面までほとんど達しないような茂みである。また、演習林内には、天空の開けた材木集積用の広場（以下、土場と呼ぶ）があり、この地点での分光測定を合わせて実施した。

2. 森林の天空率

両調査地点における森林の樹冠密度差を明らかにするために、天空に向けた写真の簡易画像解析によって、天空率を推定した。この結果によれば、中庭の天空率は25~30%であり、演習林内の場合は20~10%となった。なお、天空率の推定に用いた写真は、視野角の広い魚眼レンズによるものではなく、一般的な標準レンズ（f 35mm）によるもので、歪み補正等を行っていない値である。

3. 測定装置

分光測定は、波長別光エネルギー測定装置（LI-1800, LICOR 社製）を用いて行った。本装置は、300nm~1100nmの波長域の放射を分解能1nm幅で測定し、その結果をパーソナルコンピュータに記憶することができる。測定は、同一調査地点で、断らない限り直達光が雲などによって遮られていないタイミングをはかり、3~5回実施した。測定結果には、各々の波長別の平均値を用いた。また、測定に当たっては、光センサーをできる限り水平に置く

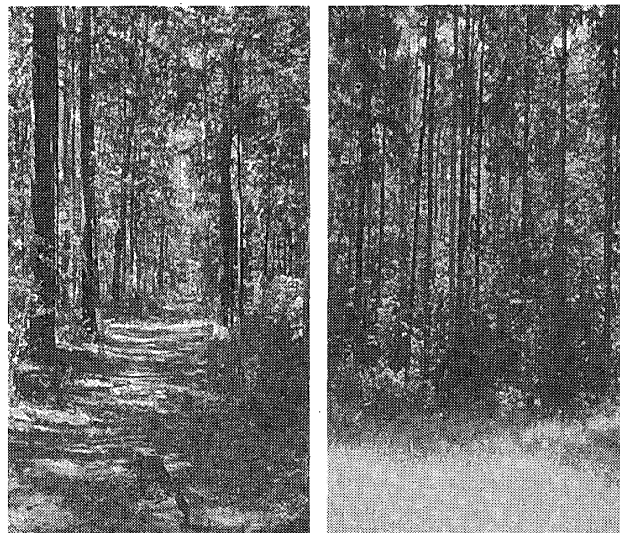


写真3 調査対象の構内演習林

（左：林内道路から、右：林内の土場から）

ようにして、水平面から全天に至る光を測定するように注意した。写真4はトウモロコシ群落近くで分光測定を行っている様子である。

分光測定と平行して、従来の気象観測で行われてきた全天日射量（CM03、感度波長：305~2800nm、キップゾーネン社製）、気温および湿度（SK-L200TH、佐藤計測製）を測定した。これらの結果は、検討・考察において必要となった場合に利用した。

IV. 結果と考察

1. 太陽光分光特性と日内変動

植被や樹冠の影響がなく、天空の開けた地表に達する太陽光の分光特性とその日変動を、最初に検討



写真4 分光スペクトル測定装置

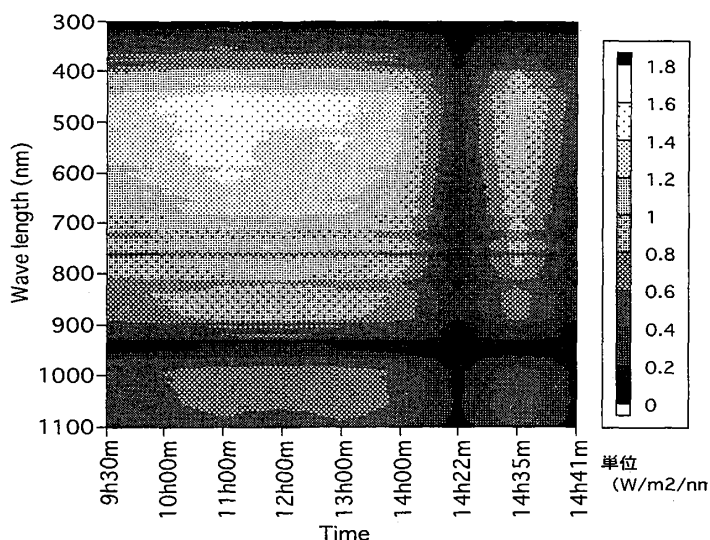


図2 天空の開けた地表の太陽分光特性の日変化

する。このために、トウモロコシ群落調査の中から、群落外部での測定結果を利用して、波長別の等放射強度パターンの時間推移を示すと、図2のとおりとなる。

太陽高度が大きくなる正午前まで、ほぼ同じ吸収帯や波長組成を持ちながら、同一パターンで増加している。逆に、正午前からは太陽高度の低下につれ、徐々に同一パターンで各波長の分光強度が減少する。雲の発生した14時20分過ぎになると、各波長の低下が急激で、中でも可視域が著しい。

図3は、黒体放射のプランク理論(Planck's law)にもとづく、5,900°Kの理想黒体の理論放射量推定値と正午前11時の群落外部の観測値を示した。さらに、後述する演習林内の観測結果から、天空の開けた土場の日向と林縁日陰での測定値をプロットした。各結果は太陽高度に相違があり、放射強度の絶対値に差があるものの、大気吸収帯がほぼ同じ波長に表れること、土場における可視光の減衰が大きいことが示された。とくに、土場林縁の日陰の測

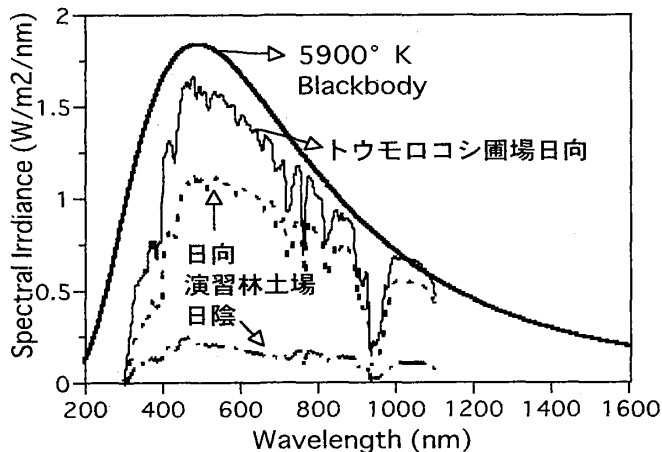


図3 太陽の理論放射と天空の開けた地表での分光特性

定値は、全波長での減少が著しい。

この結果、トウモロコシ圃場に比べて、天空が開け、直達日射が到達する演習林の土場日向では、周囲の高木の影響を受けることが予想される。さらに、土場の林縁日陰では、森林による吸収、散乱、反射の影響が大きいと推定される。

以上から、晴天時の太陽高度による変動に加えて、曇や周囲の植被などの影響が、地表面の分光特性に大きな影響を及ぼすことの一端が示された。

2. トウモロコシ群落内の分光特性

トウモロコシ群落の測定から得られた時刻別の結果は、図4に示すとおりである。

雲の発生をみる14時過ぎまでは、太陽高度の上昇と共に、群落外放射強度は増加する。しかし、群落内の各高度の測定ともに700nm以下の総ての成分が、ほとんど吸収されている。逆に、近赤外成分はいずれの時刻の観測においても、比較的多く検出された。なお、群落内1.7mの午前中の測定において、一部大きなピーク値が出現した。これらのピーク値は、風により葉が揺れ、木漏れ日として透過しやすい600nm付近の光が群落内に入った結果によると考えられる。

以上から、繁茂したトウモロコシ群落は、夏季晴天下の可視域の光合成有効放射(PAR)を、盛んに吸収した。さらに、短波側の紫外光も総て吸収しており、作物群落が紫外光をよく吸収することがわかる。植物による紫外光吸収は、植物生育上の促進要因となっているか、阻害要因となっているかは、今後の検討課題である。

図5は、群落内の各測定高度における全天日射量の観測結果である。太陽高度の小さい朝9時40分の観測値を除くと、日射量の減衰率は大きい。LAIが極めて大きい群落であり、10%前後の日射が群落内に到達したに過ぎない。これらの群落内日射は、観測で得られた近赤外光成分によるものと考えられ、太陽光の直接透過によるものと予想される。群落内で、作物群落自身による放射がどれほど寄与しているかは明確でない。

3. 森林樹冠下の分光特性

アカマツ林のある中庭、ならびに演習林内部で観測を行った結果の中から、各々の代表的な観測例を示すと、図6と図7のとおりとなる。図6には、樹木や建物の影響がほとんどなく天空の大きく開けた日向と、演習林内土場日陰の観測値を併記した。

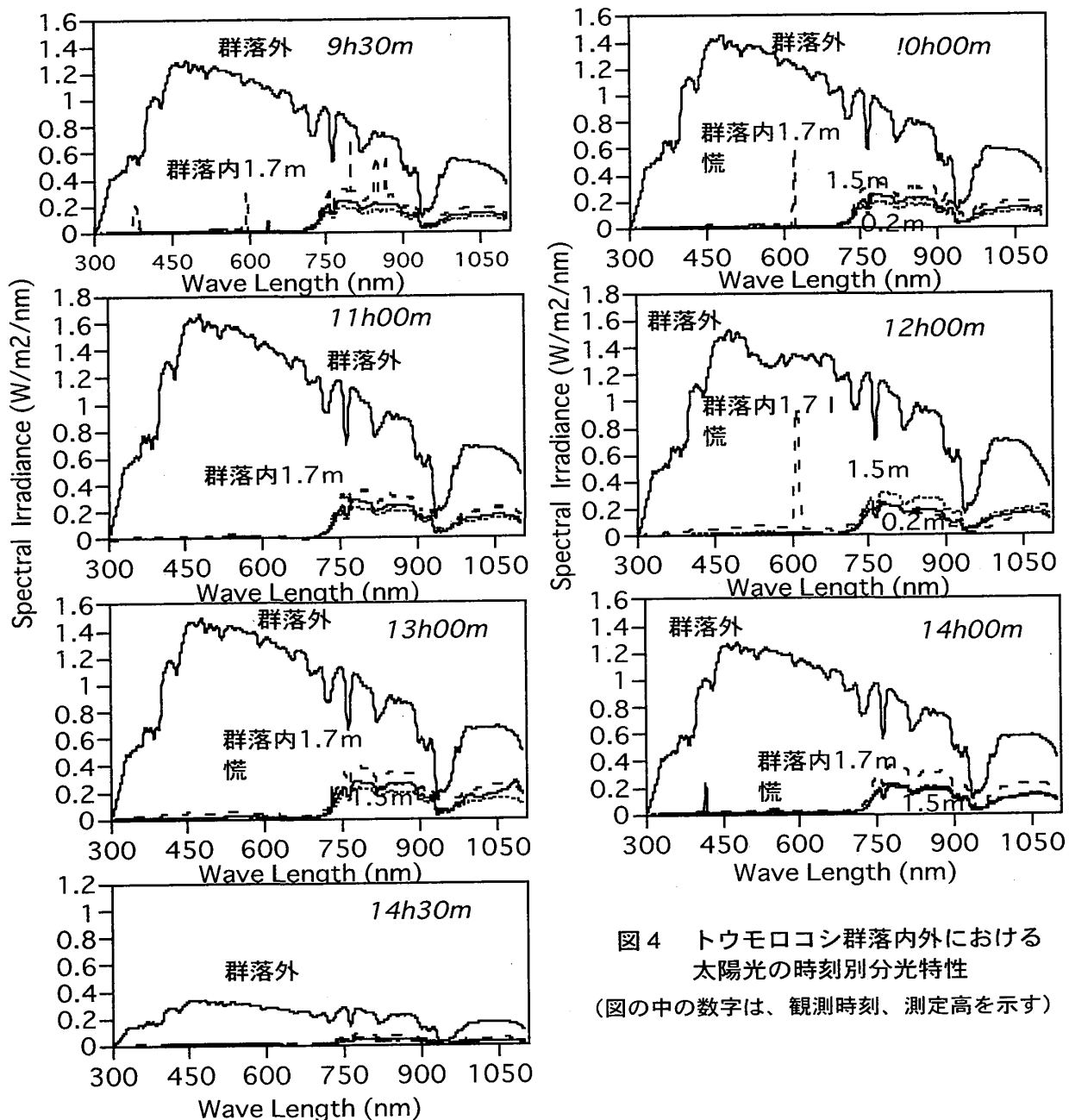


図4 トウモロコシ群落内外における
太陽光の時刻別分光特性
(図の中の数字は、観測時刻、測定高を示す)

また、図7には、演習林の土場での日向と林縁日陰の観測値を、参考のために示した。

中庭ならびに演習林ともに、それぞれ大きな光の減衰があった。高密度な樹冠をもつ演習林の分光は、総ての測点とも全波長域で大きく減衰しており、とくに可視成分のそれが著しかった。中庭の場合も、全波長域で樹冠による光吸収があるものの、全波長域において一定成分の光が地表面に達していた。なお、中庭で観測された地表面分光パターンは、演習林土場の林縁日陰において観測されたのものと、きわめて似通った形となった。

各観測値に多少の差はみられたが、これらの結果から、樹冠密度の相違が中庭と演習林の天空率、

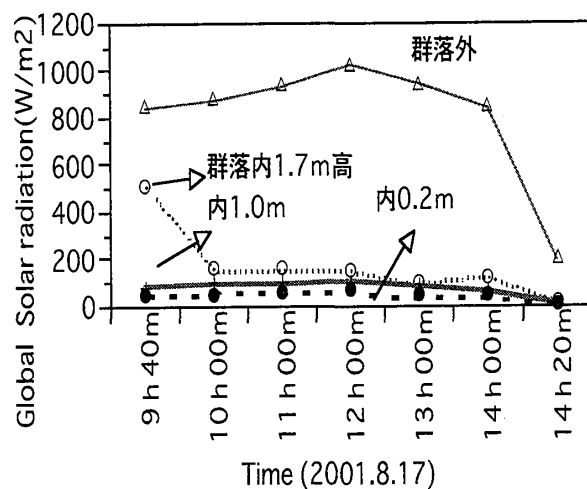


図5 トウモロコシ群落内外の全天日射量の推移

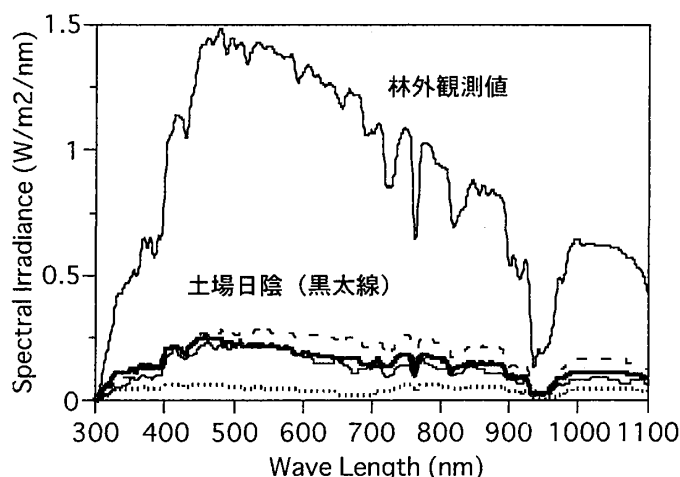


図6 中庭アカマツ林下の分光特性

森林内部での反射・散乱、周囲からの入射光に影響を与え、両観測点での分光特性に相違を生じさせていると考えられる。さらに、たとえ天空が開けていても、大きな森林の林縁付近では周囲の森林の影響を受けやすく、樹冠下に近い光環境となるものと推定される。

IV. 今後の課題

観測事例は限られたが、植被の有無や植被条件の相違と分光特性に関する興味ある結果を得た。

太陽光は時間・空間的に大きな変化を有するが、これらの変動が人類を含む総ての生態系を支えてきた。このような太陽光と生態系の関係を考察するに当たって、従来の気象学や農学などのフィールド科学の分野においては、太陽光の定量的な変化と変動成分（乱れ）が注目され、検討されてきた。しかし、種々の環境問題の発生、ならびに人や生命体におけ

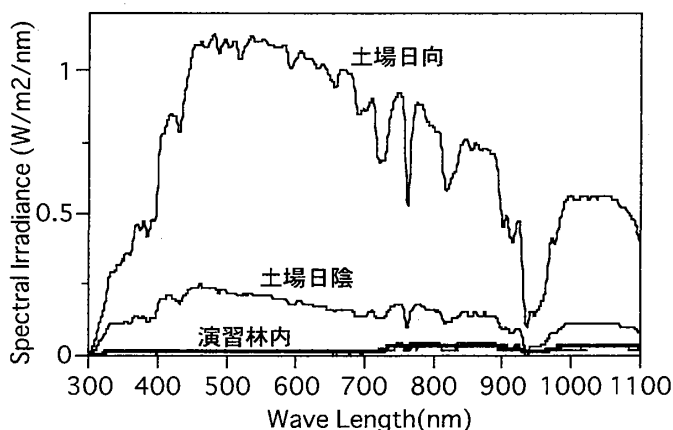


図7 演習林内における分光特性

る生活の質が問われる時代の中で、地球に達する太陽光や地表面光環境の定性的な特徴と変容の検討がますます重要と考える。

今後、様々な植被条件や季節条件下での分光特性観測、地表や植被と光の散乱・反射に関する分析、植生などによる光環境改善策などの検討課題が山積している。つまり、様々な地表面における光の定性的・定量的分配構造の推定、つまり環境を支配する光の質がもっとも重要な課題と考える。

参考文献

- 1) ア・イ・シュルギン著、内嶋善兵衛訳(1976)：太陽光と植物、東京大学出版会
- 2) Li-COR (1982): Radiation Measurements and Instrumentation. (NO.8208-LM). Li-COR inc.
- 3) Nilsen, E. T. & Orcutt, D. M. (1996): The Physiology of Plants under Stress. A biotic factors. John Wiley & Sons, Inc. New York.