

—第3章—

植物と生活をとりまく紫外線の功罪

紫外線にはその毒性が認識されているため、オゾン層の衰退に起因する紫外線の増加による、生態系への影響が懸念されています。植物のうち、特に林木は永年にわたり野外で紫外線にさらされるため、その影響が懸念されています。一方、紫外線の林木に対する影響の研究は、林木が大きいことと生長に長い時間を要することからあまりなされておらず、未知の点が多くあります。本章では、いくつかの実験データに基づき、紫外線が及ぼす生態系への影響について検討してみます。

3-1 生物に対するUVの影響に関する既往の研究

紫外線による生物への影響に関する既往の研究では、多くが紫外線は生物に有害であり、植物はその強度によって枯死したり、生長障害を受けたりすること、動物では皮膚への害が報告される一方、人間に対して紫外線はビタミンDの生成に伴うCaの人体への沈着などの有益性も指摘されています。ここではまず、植物に対するいくつかの研究事例を紹介してみましょう。

オーストリーのチロール地方を旅すると、図14の写真のように窓辺に飾られた花をよく見かけますが、この花の色付きは、標高が高いところほど鮮やかなようです。このことは、紫外線の強さと関連付けて説明することができます。花は、紫外線から花の細胞を守るための、フラボノイド色素とアントシアニンによって色付いています。高地では紫外線が低地よりも強く、また夜間は平地よりも冷え込むため、植物は強いストレスを感受して色素の合成が盛んになります。高山植物の鮮やかな色はこのようなプロセスによっていることは一般にはあまり知られていないのですが。花の鮮やかな色は、厳しい環境から身を守る結果としてもたらされている、植物のサバイバルの結果なのです。



図14 オーストリー チロール地方の風景

以下に、植物に対する人工的な紫外線照射の影響に関する実験結果を示します。

○キュウリに対するUV-B照射実験（野内, 1991）

野内は自然光利用型の人工気象室内において3週間、紫外線を追加照射してキュウリを栽培し、その生長への影響を観察した。その結果 キュウリの個体乾重量は、コントロール区と比較して自然光の1.75倍にあたる244mWm⁻²の紫外線を浴びた場合は14-49%、2.75倍の381mWm⁻²を浴びた場合は、17-79%減少することを見出した。また、紫外線量制御の影響は、日射の少ない冬ではUV-Bによる生長阻害が大きく現れ、日射がつよい夏では紫外線量の増加が生長阻害に及ぼす影響はわずかであることを明らかにした。さらに、キュウリの外観への影響としては、UV-Bの追加照射を受けたキュウリは、葉の厚さが厚くなることがわかり、これは、表皮の厚さを増化させることによって、葉内細胞まで透過するUV-Bを減少させるための生理反応であると結論付けた。

○イネに対するUV-B照射実験（Nouchi and Kobayashi, 1995）

野内は野外において自然光の50%増のUV-Bを照射できるようコントロールすることのできる装置を用いて、イネ17種に対する増強UV-B照射実験を、2か月間にわたり実施した。その結果、供試した17品種のすべてにおいて、草丈、分けつ数、穂重および個体乾物重など、イネはその形質に、何らの影響も受けなかったことを明らかにした。その結果野内は、イネに対してはUV-Bの影響は大きいものではないと結論付けた。

3-2 紫外線と林木の生長

上記には、キュウリとイネに対するUV-Bの増加による影響を記しましたが、以下では林木に対するUV-Bの影響についての検討結果を述べます。

林木に対するUV-Bの影響に関する報告は、そのほとんどが人工気象室における幼木を対象とした実験であり、これは期間が短期であることと、調節されたUV-B量が、自然と比較して非常に強度の大きいものである場合が多いです。そして自然光の遮蔽実験は、ほとんど例がありません。この理由は、林木が一般には大きいことと、効率よく自然光のUV-B成分をコントロールすることが非常に困難だからと思われます。

著者らは、信州大学農学部構内において、UV-Bの自然放射量を観測しながら、UV-Bカットフィルム・ルミラー(東レ)と、UV-Bを透過させるセルロースアセテートFを用いて、野外において自然光下でのヒノキの生長実験を行いました。

図15の写真は実験の様子で、試験区としてUV-Bカット区、UV-B透過区および対照区（フィルムをかけないで栽培する）の3区を設定しました。供試したヒノキは信州大学農学部附属演習林手良沢山演習林で種子を採取して、栽培したヒノキの3年生実生苗を用いました。苗は、発芽後1年目は寒冷紗の下で、2年目は露地において栽培され、3年生苗が実験に供されました。



図15 UV-B遮蔽実験の様子
(写真下左はUV-B透過区、右はカット区の様子)

図16は、実験一年目と実験二年目のヒノキの生長量を示しています。実験一年目にはUV-Bカット区の生重はUV-B透過区の92%程度で、その差はほとんど見られない程度でしたが、実験二年目にはUV-Bカット区の生長量は、UV-B透過区のそれに比較して著しい不良となりました。このことは一般に認識されている紫外線の有害性と正反対の結果である、といえます。図17の写真は実験二年目の栽培時のヒノキの様子です。ここからもUV-Bカット区の生長不良の様子が明らかに見て取れます。

図18は、ハンノキ（実生）に対するUV-B照射の影響を対照区のハンノキの重量と比較したものです。処理方法は、+が自然光の $+0.3\text{W/m}^2$ 、++が自然光の $+0.9\text{W/m}^2$ そして+++が自然光の $+1.5\text{W/m}^2$ のUV-Bを、追加照射した場合の生長量です。自然光に 0.3W/m^2 のUV-Bを追加した場合の生長は、対照区（自然状態）の33%増となり、 $+0.9\text{W/m}^2$ の場合で対照区と同等、そして 1.5W/m^2 増の場合は50%減となりました。この結果は、若干のUV-Bの増加は生長量を増加させるかほとんど影響しないものの、増加量が大きくなると生長に悪影響を及ぼすことを示しています。

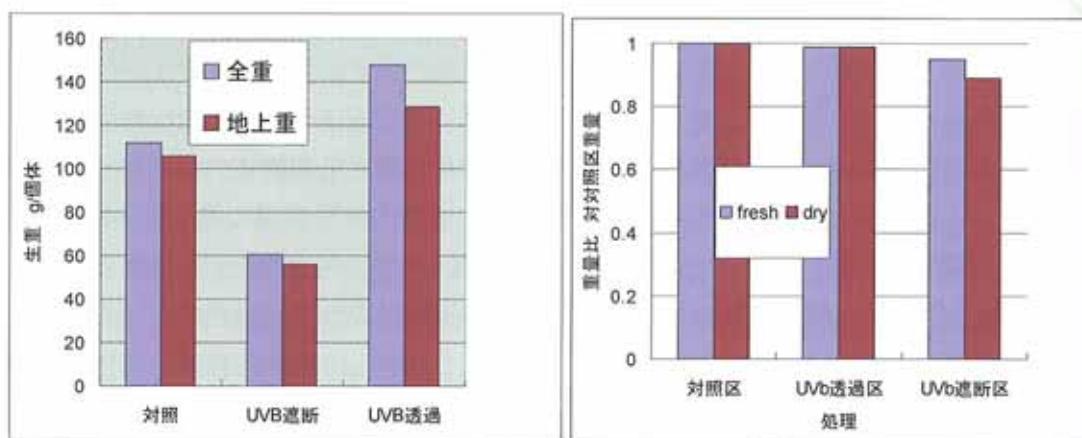


図16 実験1,2年目のヒノキの生長量の比較

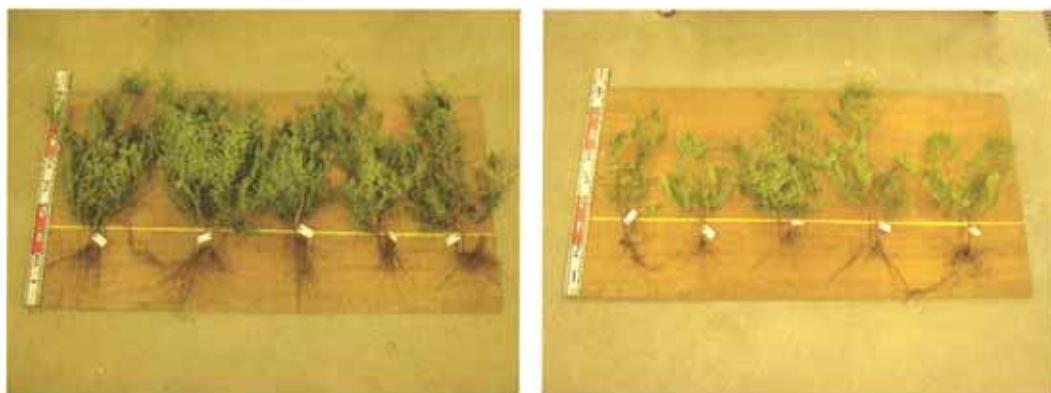
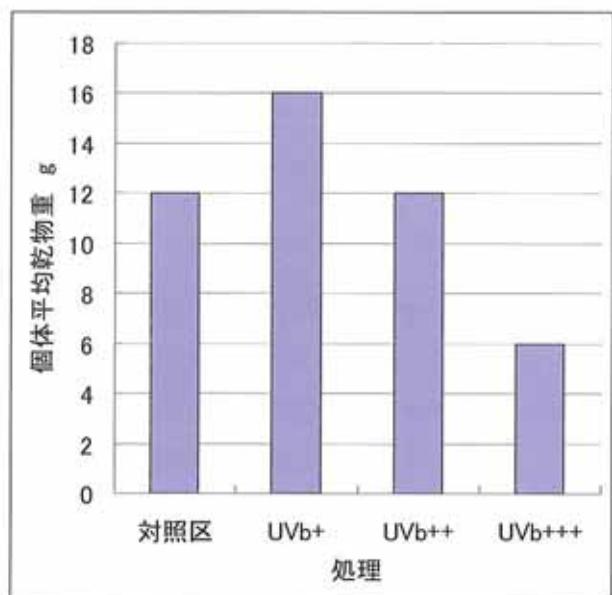


図17 実験2年目のヒノキの様子（左：透過区、右：カット区）

図18 ハンノキ(実生)に対するUV-B照射の影響
(+ : 自然光の+0.3W/m²、++ : +0.9W/m²、+++ : +1.5W/m²のUV-Bを追加照射)

以上の作物あるいは林木に対するUV-Bの影響について整理してみます。

植物は太陽エネルギーによって大気中の二酸化炭素と水を同化し、化学エネルギーに変換して生長します。この際、自然生態系に存在する紫外線は、避けがたいものとして利用するように植物は、自身の生理を順応させてきたと考えられます。したがって、自然光中のUV-Bがフィルムによって遮断されると、植物の生理機構に働くUV-Bが不足して、生長障害を引き起こす、と解釈することが出来ます。牧草はUV-Bをほとんど反射しません（図10）が、これはすべての紫外線が植物によって利用されていることを示しています。また、星川・鈴木は植被下の放射スペクトルの観測の結果、紫外線領域の放射はほとんど植被下には透過しないことを示していますが、このことも、植物が太陽放射中の紫外線をよく吸収していることを示しています。しかしながら、現状より著しく強度の大きいUV-Bを照射した場合には、多くの植物の生長が阻害された結果は、今後のオゾン層の破壊や修復状況と、地上に降り注ぐ紫外線を注意深くモニタリングしながら生物の様子を観察することの重要性を示しています。

UV-Bが植物の生長や生理に及ぼす影響を整理してみましょう。UV-BはDNAを損傷させる働きを有していますが、植物はこの損傷を修復する機構「光回復」を有しています。これは、光合成を行うために植物は常に太陽の下に置かれていることから備わった機能であると考えられます。成層圏オゾンが破壊されて紫外線が増加すると生物への悪影響が懸念されますが、多くの生物はDNA損傷を効率的に修復する機能を有しています。

光回復は「光回復酵素」の働きによって発現しますが、植物の光回復酵素の遺伝子は光照射下で発現が促進され、植物は紫外線が当たる環境下ではその機能を強化すると考えられています。長い時間をかけて植物はそれぞれに適した環境適応機能を備えてきたと考えられ、ヒノキは自然光中のUV-Bを利用するように環境に適応して進化してきたと考えられるのです。

3-3 環境の変動に伴う生物の反応

これまで見てきた植物の反応は、長い時間かけて環境に適応してきた結果を示していますが、同時に、環境が「ちょっとだけ」変化したときの、生物の反応を知るには及んでいません。

今まさに環境は、「ちょっとだけ変化する」ことが危惧される状況にあるのです。

図19は、林木に対する紫外線の調整実験の結果から生物に対する環境要因の影響を模式的に示したモデルです。これは、

- ① 現状の環境条件下で生物は最も効率よく生長する
- ② 最も効率のよい生長はある範囲の環境条件下でもたらされる
- ③ 現状より著しく異なる環境条件下では生長は阻害される

そしてさらには、環境条件がある一定値を超えると、一般に生物は劇的に反応することが知られています。この一定値とは「閾（しきい）値」と呼ばれており、ほんのちょっとだけ以前より環境が変化する、たとえば気温がちょっとだけ今より上昇する、あるいはUV-Bがちょっとだけ今より増加したとき、林木は著しく生長障害を受け、森林が衰退する可能性があること、を説明しています。

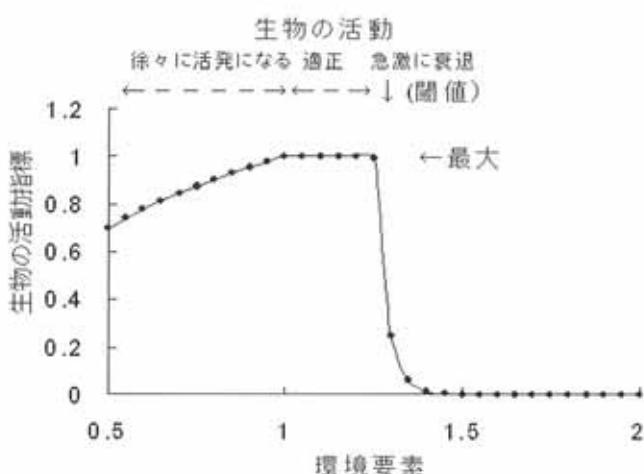


図19 環境の変化に対する生物の活動指標のモデルの一例

環境要素とは、たとえば毒素の濃度や紫外線の強さなど、生物の活動指標とは、環境要素の変化に伴う生物の活動の健全さを示す。適正範囲の最高値である閾値を超えると生物の活動指標は急激に低下する。

〈例〉紫外線が現在の森林生態系に及ぼす影響は、これが弱まる（環境要素が1以下になる）と徐々に森林の活動は弱まる。一方、紫外線量が閾値よりわずかに増加すると、森林は一気に衰退する。

3-4 生活と紫外線

植物には光修復の機能が備わっていると説明しましたが、人間にはこの機能は備わっていないません。ヒトにとって紫外線は、日焼けやシミ・ソバカスの発生、皮膚がんなどの発生リスクとなることはよく知られています。一方で、ヒトの生体にとって紫外線がビタミンDの生成に必然であることから、適切に紫外線に対処することが必要である、ともされています。また、農林業従事者には、野外作業の機会が多いため、紫外線への適切な対応方法を理解したうえで作業に当たるよう心がける必要があります。

欧米では、紫外線対策として、新聞などで日々の紫外線情報が出され、公園や幼稚園、プールなどの施設には紫外線防止用のテントを設置するなどの対策が採られています。第1章で記述したとおり、現在は紫外線には百害あって一利なし、という風潮が一般的であるといえます。

南極に近く、上空のオゾンホールにも近いオーストラリアでは、紫外線対策が進んでおり、小学校では、野外活動時のツバの広い帽子の着用が義務付けられているほか、野外活動時には、そのつど日焼け止めクリームの利用が通知されます。著者の一人（鈴木）が勤務するCSIRO（オーストラリア連邦科学産業研究機構）でも、ツバの広さが10cm以上の帽子を着用し、SPF値30程度の日焼け止めクリームを一時間ごとに利用することが、野外作業時の指針として決められています。また、これとほぼ同様の情報は、小学校や中学校でも、たびたび保護者への通知として提供されています。この情報に、いわゆる「野球帽」（キャップ）は、ツバが顔の上にしかないため、耳や首の後ろ等がUVに暴露されること、そのために適切ではない、とも記載されています。

また、信州はワインタースポーツのメッカ、でもあります。先に、雪面によるUV-Bの振る舞い、つまり、雪面に到達したUV-Bのほとんどは雪面によって反射され、またこの反射率は可視光線が降雪以降の日数に伴い反射率が減少するのに比較するとその減少率が極めて緩やかである、というという特徴を示しました（第二章参照）。冬は紫外線を含む太陽光線は弱い、と認識されがちですが、雪面上では太陽から降り注がれるUV-Bのほぼ2倍が人間を含む対象物に注がれている、ということを強調しなければなりません。

先に帽子の着用、日焼け止めクリームの利用が、学校でも通知される、と書きました。加えて最近では、児童生徒の登下校の際には、サングラスを着用すること、も推奨されています。いまやオーストラリアでは、サングラスがファッショնだけではなく、身を守る道具として認識されているのです。

日本でも近年、気象庁が紫外線情報を天気予報の一環として提供し始め、幼稚園などの野外運動場などの日よけ設置などが進んでいます。オゾン層の衰退に関しては日本の環境省が、2050年ごろにはオゾン層の衰退前の状況まで回復するとの予測結果を、最近公表しました。このことは、今後40年間は地上に降り注ぐ紫外線量はオゾン層衰退前よりも多いことを示しています（1.4 脚注参照）。

このような環境の下で紫外線に対して私たちがどのように対応してよいのかについて述べてみます。私たち人間は紫外線による影響を修復する能力を持ちませんし、かつて言われたほど重要性は高くないとしても、一方で生体の健康維持のために紫外線を浴びることも欠かせない、とも言われます。したがって、過度に恐怖心を持たずに、適当な処置をその場その場で心がければよいのではないかと考えられます。すなわち、

- ① UV-Bの最大強度は7月中旬ころ
- ② 雲が多い日には雲によるUV-B反射と地上での収束により強度が一時的に強まるなどの知識を持つことが肝要です。

ぜひ参考にしていただきたいと考えております。