イネと紫外線

UV-Bの影響を中心に

熊谷 忠*

成層圏オゾン層の破壊に伴う紫外線の増大は、生物社会にどのような影響を与えるのであろうか？ 日焼けと皮膚癌との関連など具体的な警鐘も鳴らされているが、植物の場合はどうであろうか。アジア地域の栽培イネについてみてゆくと、生育・収量に対して紫外線はプラスの効果、マイナスの効果両面あり、またイネの品種、二酸化炭素濃度など環境要因の違いによっても差のあることがわかってきた。

1971 年、超音速機から排出される窒素酸化物などが成層圏を汚染し、成層圏オゾン層に与える影響が問題となった⁽¹⁾。1974 年、人類が創り出した安定であると考えられていたクロロフルオロカーボンが紫外線により分解される過程で成層圏オゾン層を破壊し、その結果、地上に到達する有害紫外線が増大する可能性が示唆された⁽²⁾。その後、英国の南極基地ハレーベイでは、上空中の春期オゾン量が 1977 年から 1984 年の間に 40% 以上も減少していることが見いだされ、これらを契機として、世界中で成層圏を汚染する物質の観測体制が組まれることになった⁽³⁾。アジアの米作地帯でも過去 20 年間に 1~4% のオゾン層の減少が認められている⁽⁴⁾（オゾン層が 1% 減少すると地上に到達する紫外線 UV-B 量は約 2% 増加すると言われている）。今日では成層圏オゾン層の減少に伴う紫外線量の増大の実態と、紫外線量の増大が地球上の生物、生態にひき起こす変化についての懸念が高まっている。

紫外線は蛋白質や核酸を破壊し、細胞に変異や癌化をひき起こし、ひどい場合には死に至らしめるといった、きわめて脅威的な生物効果を有することが知られている。もし地球に到達する紫外線が増大すれば、皮膚癌、白内障などの発生率が増加したり、なかには絶滅する種が出たりし、生態系における生物間のバランスが大きく変わることが想定され、その結果、大気、水、土壤環境など地球全体に大変化がひき起こされることになる

う。

一方、紫外線は生物の誕生、進化に深く関わってきた。約 35 億年前に地球上に光合成生物が発生して以来、次々と出現した生物の活動によって生じた酸素は真空紫外線（約 200 nm より短波長の紫外線）と反応してオゾンを生成し、大気の上層にオゾン層として存在するようになった。紫外線を吸収するオゾンは、太陽からの有害紫外線の放射を遮断するため、陸上に高等植物が出現できるようになった。そして、植物の旺盛な光合成によって大気中の酸素濃度は高まり、現在の地球が成立するに至った。このように、地上に到達する紫外線が増大するということは、生物が進化してきた道を逆行することを意味している。

ところで、前述した紫外線の効果は UV-C (280~210 nm の光) より短波長の紫外線による。現実には、太陽放射に含まれる短波長の紫外線は成層圏オゾンに吸収されるので、問題になるのは UV-B (320~280 nm の光) である。UV-B が生き物に与える影響についてはその多くが未知である。

筆者らは、紫外線や他の環境因子が植物や微生物の生育、生態系に与える変化、生物が本来有している能力の発現に及ぼす影響を実験生態学的に解析し、想定される未来環境に適応した遺伝資源の開発に寄与する研究を行ないつつある。本稿では、筆者らがここ数年間行なってきたイネの生長に及ぼす紫外線の影響に関する研究の成果を中心に、紫外線が植物に及ぼす影響について考えてみることにする。

Effect of UV-B Radiation on Growth of Rice

* Tadashi KUMAGAI, 東北大学遺伝生態研究センター

植物における UV-B 傷害と防御

植物個体の立体構造は大変複雑である。植物に降り注ぐ光は葉の表面でその一部が反射される。葉内に入射した光は上皮細胞に含まれるフラボノイドなどの色素によって吸収され、残りの光は細胞膜、顆粒などにより散乱される。その過程で特定のエネルギーを持った光は細胞内の特定の分子を励起し、色々な光生理現象をひき起こす。現在では、先端が μm サイズのプロープを持った光学ファイバーを組織内に挿入し、組織内に透過してくる光を直接測定する技術が開発されている。葉組織内へ透過してくる UV-B はブラシカ植物では 10% 以下に減光される⁽⁵⁾。

一般に光を受容する物質（光受容体）の同定は作用スペクトル（ある一定の生物効果をひき起こすのに必要な様々な波長の紫外線の相対的エネルギー効率）と既知物質の吸収スペクトル、光反応のキネティクスに基づいて行なわれる。たとえば、DNA、蛋白質はもちろん、フィトクロムや植物・菌類の形態形成を調節する青色光反応の光受容体であるフラヴィンもこの領域に吸収ピークを有するので、それらはすべて紫外線受容体の候補者となる。もし、この生理現象が赤色光や近赤外光によって調節されるのであればフィトクロムの関与が考えられるし、青色光によって修復されるのであれば DNA のシクロブタン型ピリミジンダイマー（CPDs）の関与が示唆される（DNA 傷害の光回復は UV-A あるいは青色光依存の酵素反応である）。また、長波長の光によって影響されないのであれば、(6-4)型ピリミジンダイマ ((6-4)型光産物) の関与、未知の UV-B 受容体による反応、あるいは蛋白質や膜の損傷の可能性が強く示唆されることになる。UV-B が植物に与える影響を表 1 に示す^(6,7)。

紫外線が高等植物の DNA に及ぼす影響については、原核細胞あるいは単細胞性有核生物で見いだされてきた UV-C による傷害と回復、防御の機構を基にして考えられてきた^(8,9)。最近、Quaite ら⁽¹⁰⁾が決めたアルファルファ (*Medicago sativa* L.) 幼植物の CPDs 生成の作用スペクトル

表 1 ■ UV-B の植物に及ぼす影響

A: 生理, 生化学的影響
1. 光合成: Hill 反応, 電子伝達系, リブローズビスリン酸カルボキシラーゼ (Rubisco), ホスホノエールビルビン酸カルボキシラーゼ, 暗呼吸, 気孔の開閉, 光合成色素
2. 遺伝子発現, mRNA の転写レベル: クロロフィル a/b 結合蛋白質, 光化学系 II D1 蛋白質, Rubisco 大小サブユニット, カルコンシンセターゼ, グルタチオンリダクターゼ, クロロプラスト, スーパーオキシドジスムターゼ
3. DNA の損傷
4. 葉中の可溶性蛋白質, 脂質, 炭水化物
5. 植物ホルモン
6. イオン輸送
7. フラボノイド合成の誘導
B: 形態的, 解剖学的影響
1. フィトクロム, UV-B 光反応のシグナル伝達の変化
2. クロロシス, 色素破壊
3. 細胞レベルでの反応: 細胞の容積, 原形質流動, 水の透過性の増加と細胞内の粘性の低下, オルガネラの形態変化, 小胞体の膨張, チラコイド膜の厚膜化, クロロプラスト二重膜の破壊など
4. 形態レベルでの反応: 草丈や節間伸長の低下, 葉のワックスや厚さの増加, 葉の面積や容積の減少, 細胞数や長さの変化, 気孔の数や抵抗性の減少
5. 生育不全
6. 乾物生産, 栄養物の分配
7. 収量
C: 品種間差異, 競合

は、365 nm より短波長の光が有効であり、280 nm 付近にピークを示した。彼らによれば、この場合の紫外線受容体は DNA であり、作用ピークが 280 nm 付近にあるのは外皮細胞や色素などにより変形を受けたためであるとしている。なお、ヒトの皮膚における CPDs 生成の作用スペクトルは 300 nm 付近にピークを示し、UV-A (400~320 nm の光) も効果がある。この場合の紫外線受容体も DNA である⁽¹¹⁾。

このように、作用は弱いとはいえ、UV-B あるいは UV-A がピリミジンダイマーを生成する作用を有することは、太陽の下で生活している生き物にとって大変重要である。なお、地上に到達する太陽放射に含まれる紫外線の最短波長は 300 nm 付近であり、想定されているオゾン層の減少を考えてもわずか数 nm 短波長側にシフトするだけである。310 nm より短波長の光量は短波長側にいくに伴って指数関数的に低下する。したがって、この領域の光が種々の生物に及ぼす効果を比較するためには、作用スペクトルと現実照射

される光強度の波長別重みづけを考慮する必要がある⁽¹²⁾。Quaite らの計算によれば、50% オゾン濃度の減少に見合う紫外線の増大がアルファルファに及ぼす生物効果は皮膚あるいは裸の DNA の場合に比べ 2~3 倍低い。

植物は青色光を含む太陽光の下で生活しているので、CPDs⁷の蓄積は起こり難い環境にある。とはいえ、紫外線傷害の光回復効果は生き物にとって基本的に重要であるので無視できない。インゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L.) 幼植物の胚軸に含まれる光回復酵素活性はフィトクロムにより調節され⁽¹³⁾、シロイナズナ (*Arabidopsis thaliana*) 幼植物においては UV-B によって増加する⁽¹⁴⁾。一方、Britt ら⁽¹⁵⁾はシロイナズナのフラボノイド合成欠損突然変異体 (*tt 5*) から高い UV-B 感受性を示す突然変異体 *uvr 1* を作出した。この変異体では、CPDs ではなく (6-4) 型光産物の除去が UV-B 環境の抵抗性には必須であることがわかっている。これらの研究は、これまでよく知られていなかった、高等植物における紫外線による DNA 傷害と光回復の重要性を示唆しているといえよう。

アントシアニンやフラボノイドなどの植物色素の合成は、フィトクロムや青色光効果の光受容体、あるいはそれらとは別個の 290~300 nm に作用スペクトルのピークを示す光反応によって調節される⁽¹⁶⁾。ライ麦 (*Secale cereal* L.) 幼植物を UV-B 存在下で育てると、対照に比べて葉の表皮細胞に 4 倍ものフラボノイドを蓄積した植物を得ることができる。この植物の光合成活性、光化学系 II の量子収率は対照に比べ増加する⁽¹⁷⁾。また、シロイナズナのフラボノイド合成欠損の突然変異体 *tt 4* (カルコンシンセターゼの構造遺伝子の突然変異体で、フラボノイドの含量が少なくシンナベイトエステル含量は正常) と *tt 5*, *tt 6* (カルコンイソメラーゼの構造遺伝子の突然変異体で、UV 吸収性フラボノイドとシンナベイトエステルフェノール化合物の含量が少ない) を UV-B 存在下で生育させると、*tt 5*, *tt 6* の生育は最も強く抑制され、ついで *tt 4*、親株の順にその抑制効果は低下した⁽¹⁸⁾。このように、植物は UV-B 環境の

変化を感知し、紫外線吸収色素を合成する。UV-B によって誘導されるフラボノイドの生合成は葉の表皮細胞で行なわれ、液胞に蓄積する⁽¹⁹⁾。蓄積されたフラボノイドは UV 吸収フィルターとして働き、有害紫外線から植物細胞を保護する。

紫外線がイネの生育に及ぼす影響

1. 紫外線源と環境調節実験室

太陽スペクトルは大気中の水や塵の状態、あるいは太陽の高度、入射面の傾斜などによって時々刻々変化するので、それをシミュレートすることは大変難しい。もし、シミュレーションが可能であるとしても、今地上に到達している太陽放射に想定される UV-B 量を加えた条件をつくり出さねばならず、これまた大変困難なことである。これに加え、現時点より低い濃度のオゾン条件をつくり出すことは不可能であるので、成層圏オゾン層を透過した光は使えず、太陽光を利用しようとするのであればオゾン層に入射する前の太陽光を使わざるを得ない。たとえば、成層圏オゾン層のすぐ外に生き物が生活できる基地を設置し、その外側に設けた人工のオゾンフィルターを透過してくる太陽光を利用するか、オゾン層に入射する直前の太陽放射を集光してファイバーで地上に導き、人工のオゾンフィルターを透過させた太陽光を利用することが考えられる。あるいは、人工衛星を使ってオゾン層に入射してくる太陽スペクトルをモニターし、電気信号に変換して地上部に送り、ランプを駆使して人工太陽スペクトルを構成し、オゾンフィルターを透過させた光を利用することも考えられる。いずれにしろ、この種の装置の開発にはかなりの経費がかかる。

現実には、UV-C の光源としては低圧水銀灯(殺菌灯)が簡便で、古くから使用されている。また、紫外線に限らず、単色光照射には紫外から可視域まで広い波長範囲にわたって比較的フラットな光を放射するキセノンランプを光源とし、回折格子、干渉フィルターあるいはプリズムを用いた単色光照射装置が使われている。イネなどの大きな植物の個体全体を実験の対象にする場合には、光質、光強度以外に広い照射面積と長時間にわた

図 1 ■ 環境調節実験室（バイオクライトロン）の光源部と放射光のスペクトル

る照射が必要であり、すべての条件を満たすのは厄介であることが多い。ともあれ、通常、UV-B 照射には、約 313 nm に放射ピークを示し UV-C も若干放射する UV-B 放射蛍光管が使われている。必要に応じて蛍光管にセルロースアセテートフィルムを巻き付け、280 nm より短波長の UV-C を取り除いている。また、光質は変えず光強度のみを減光するステンレス網フィルターなどを使ったり、実験植物と蛍光管の距離を変えたり、電圧を変えることによって光強度を調節する。セルロースアセテートフィルムは劣化し易く、約 1 週間毎に交換しなければならない。筆者らは、実験室内ではセルロースアセテートフィルムの他にガラス製のカットフィルターを使用している。カットフィルターの光透過性は長期間にわたって安定であるが高価であるのが欠点である。

野外での紫外線の生物効果は、太陽放射、降雨、温度、土壌栄養などによって大きく左右されるので解析が大変困難である。そこで、様々な環境因子を任意に調節できる装置が必要となる。環境調節実験室としては、太陽光利用型の半屋外型か完全屋内型のものが一般に使用されている。筆者らは 2 種類の完全屋内型の環境調節実験室を利用している。

一つはコイトロン (KG 型、小糸製作所) で、日長、昼夜の温度を任意に設定できるものであ

る。この光源としてはメタルハライドランプ、白色蛍光管と赤色域の光を補うためにリフレクターランプを使用している。この光条件下でイネは登熟し稔実するが、光が不足気味であるため野外に比べ徒長し、稔実率も低くなる。この実験室の天井に前述した紫外光放射セットを吊るすと紫外線の影響の調査ができる。

もう一つは、筆者らの設計のもとに作られたバイオクライトロン (タバイエスベック (株) 社製) で、これは温湿度、光条件以外に二酸化炭素濃度も調節できる。光源としてはメタルハライドランプと高圧ナトリウムランプを使用し、それぞれのランプの数、配置を変えることができる (図 1)。さらに、ランプの数を変えたり、ニュートラルデンシティフィルターを使用したり、床に設けたリフターの高さを変えることによって光強度を調節できる。また、工夫すれば植物の生育にとって重要な青色域と赤色域の光量の割合を変えられる。実験室内の上部に紫外光照射セットを取り付けられるようにしてあり、紫外光放射蛍光管の代わりにカラーランプを取り付けたり、蛍光灯器具の下に各種フィルターを取り付ければさらにスペクトル構成を細かく変えることも可能である。

2. イネの生長に及ぼす紫外線の影響

3 葉が展開するまで温室で育てた日本イネ品

種、すなわち農林 20 号、増産 1 号、ササニシキ、農林 1 号の 4 品種を環境調節実験室に移し、光合成有効照射量 (PAR: 400~700 nm の光量) が $112 \mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{sec}$ の可視光と少量の UV-C を含む UV-B ($0.46 \text{ W}/\text{m}^2$) の照射下で育てたところ、4 品種いずれの草丈の伸長も抑制された。この条件に移して約 3 日後には、農林 20 号、増産 1 号、農林 1 号の葉は褐変し始め、この褐変は生育が進むにつれて古い葉から新しく作られてくる若い葉へと広がり、約 1.5 カ月後には農林 1 号はひどいダメージを受けた。葉のクロロフィル含量、葉の分化、根の発達、地上部や地下部の新鮮重、乾燥重の増加も抑制された。このような紫外線による傷害は農林 1 号で最も大きく、ササニシキでは最も小さかった。

北陸農試のデータベース (1977; 1980) によれば、早生型である農林 20 号は出穂までに約 79 日を要し、その他の 3 品種は 110 日を要する。また、農林 20 号の草丈は約 70 cm と低く、穂重型イネである増産 1 号の草丈は約 102 cm と高い。この品種は 1 株当たりの穂の数は少ないが長い穂を有し、1 穂当たりの粒の数が多し。農林 1 号とササニシキの草丈や草型は農林 20 号と増産 1 号のほぼ中間である。このように、イネの紫外線に対する抵抗性の品種間差異は単純に草型の差によらないことがわかるであろう⁽²⁰⁾。

3. 圃場試験の成績

実験室で認めた紫外線抵抗性に関する品種間差異を圃場で確認するため、当センターの実験水田に地表面から約 1.8 m の高さに紫外線ランプを吊るし、紫外線照射区と非照射区を設け、ササニシキと農林 1 号を用いて生育、収量試験を行なった (図 2)。1992 年の成績 (未発表) によれば、生育の初期には一部の葉に褐変が見られ、分けつが抑制されたが、生育が進むにつれて回復してきた。しかし、紫外線照射区における両品種の稔実の程度は非照射区に比べ約 10% 低く、小さい粒の割合が多かった。米粒の蛋白質含量 (特にプロラミン) は高く、食味は低下した。このような紫外線の効果に対してササニシキは強い抵抗性を

図 2 ■ 圃場試験風景

左側：紫外線に弱い品種 (農林 1 号)、右側：紫外線に強い品種 (ササニシキ) (移植後約 2 ヶ月)

を示し、農林 1 号は弱い抵抗性を示した。

紫外線が作物の生育、収量に及ぼす影響について調べた例は少なく、そのうちの多くは温室で行なわれたものであり、断片的である。長年にわたる圃場試験ともなると希有である。唯一の例として、1981~1986 年にかけて行なわれたメリーランド大学の Teramura ら⁽²¹⁾のダイズの収量試験がある (この時は 25% のオゾン層の減少、つまり約 50% の UV-B 量の増大を想定した)。彼らの試験によれば、UV-B 感受性品種 Essex は 1983 年以外の 5 年間は約 20% の収量減を示したのに対し、1983 年だけは 5% の収量増を示した。一方、UV-B 感受性の低い品種 Williams は 1983 年以外の 5 年間は数%から十数%の収量増を示したのに対し、1983 年だけは 30% の収量減を示した。この原因として、UV-B の効果が 1983 年の多雨量によって影響されたことを指摘している。筆者らの試験においても 1983 年の冷害はひどく、ササニシキと農林 1 号の生育の差は明らかであったが、収量の比較を論ずるには至らなかった。

このように、圃場における紫外線の効果は様々な環境要因の変化が複雑に作用し合うので解析が大変困難であり、正確なデータを得るためには長年にわたる試験が必要となる。

4. アジア地域の栽培イネの紫外線抵抗性

上述の結果に基づいて、環境調節実験室内でさ

らに広くアジア地域の栽培イネについて検討した。アジア地域のイネ⁽²²⁾は、種子の性質（粒形、脱粒性など）、植物体（草型、分けつ、草丈など）、生理的特性（低温抵抗性、フェノール反応など）に関係する遺伝学的分析に基づいて、インド型 (*indica*)、ジャワ型 (*javanica*)、日本型 (*japonica*) の3つの生態種に分けられている。2, 3の特徴をあげると、インド型の粒形は長粒、日本型は短粒であるが、ジャワ型は大粒である。あるいは、インド型の草丈は高いが、日本型は低い集団である。生態種はさらに、環境に対する反応性の相違から個々の生態型に分けられる。筆者らが対象にした生態型はインド型に属する *aus*, *aman*, *boro*, *tjereh*, ジャワ型の *bulu*, 温帯性日本型水稻グループおよび陸稲グループである。高橋⁽²³⁾によれば *bulu* と *tjereh* はジャワとスマトラ島を中心にして栽培されており、*aus* はベンガル地方とアッサム地方の乾燥地帯で雨期に栽培されている。*aman* は常時水の豊かな低湿地、*boro* は水が豊かな地域で冬期栽培されるイネである。日本のイネ品種は、生態型として区別することが難しいぐらい互いに交雑が繰り返されており、主流品種は外国品種の影響をほとんど受けていないと言われている。

調査の結果、上記の5つの生態型と2つの日本型イネグループ、いずれにも低強度の紫外線によって生育が促進される品種と抑制される品種が含まれていること、紫外線の強度を上げると各品種の生育は抑制されるが、すべての品種が同じ程度に抑制されるのではなく、より抑制される品種や逆に促進される品種も存在すること、日本水稻、*boro* 生態型が紫外線に対してより強い集団であることがわかった⁽²⁴⁾。国際イネ研究所 (IRRI) の Dai ら⁽²⁵⁾は、紫外線に抵抗性を持つ品種を選抜するのに有効な種々の形態的、生理生化学的パラメーターの検索を行ない、葉面積、乾燥重が最も信頼できるパラメーターであること、IR 系統4品種のうち IR 64 は UV-B に強く、IR 74 は弱いことを見いだした。また、Teramura ら⁽²⁶⁾は紫外線の多い熱帯に近い地域で栽培されているイネ16品種の UV-B に対する感受性を温室で調査し、

バイオマス面から Kurukaruppan (スリランカ)、Himali (ネパール)、Tetepa (ベトナム) などは強く、Carreon (フィリピン)、N 22 (インド)、IR 36 (フィリピン) などは弱い抵抗性を示すことを見いだしている。

以上のように、同一の生態型あるいはグループに属する品種は遺伝学的にも、また環境の変化に対しても、似た性質を示すことが期待されるが、紫外線に対してはかなり異なった感受性を有する品種が同一の生態型に含まれていること、紫外線抵抗性は栽培されてきた地理的分布とは単純に関係していないことが判明した。

5. 可視光、二酸化炭素による紫外線傷害の修復

仙台の真夏の快晴時の光強度 (PAR) はおおよそ $1,900 \mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{sec}$ である。バイオクライترون、ファイトトロン内の PAR はそれぞれ $500 \sim 600$, $100 \sim 200 \mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{sec}$ 程度で、直視できないくらいの明るさであるが、実際には曇天の時の野外の光強度に相当する。紫外線の光強度を一定に設定し、高い PAR の下でイネを育てると、紫外線による生長抑制は品種の差に関係なく軽減された。したがって、可視光量の多い野外における紫外線傷害は実験室内の場合に比べれば起こり難いこと、また日照によって大きく左右されることがわかるであろう。筆者らは、大西 (奈良県立医大) らとの共同研究で、UV-C によってササニシキの幼植物に CPDs が生成すること、およびその光回復を認めている (未発表)。現在、傷害と CPDs との関係を解析中である。

インド型イネ Marich-bati は紫外線に対して強い抵抗性を示すが、Surjamkhi は弱い抵抗性を示す。ササニシキ、農林1号と上述のインド型イネ2品種を高 CO_2 区 (昼間の CO_2 濃度: 700 ppm , 夜間の CO_2 濃度: 350 ppm) で生育させると、対照区 (昼夜間の CO_2 濃度: 350 ppm) の場合に比べ、播種後3週間目にはいずれの品種においても新鮮重、乾物重、分けつ、クロロフィル含量、草丈の伸長が促進され、この生長促進は生育期間が長くなるにつれて増加した。4品種を比較すると、ササニシキ、Surjamkhi の生育がよく促

進され、農林1号の生育促進は低かった。高CO₂区、対照区を問わず、いずれの品種の生育も紫外線照射によって抑制されたが、高CO₂区ではCO₂対照区に比べ紫外線による生育阻害の程度は減少した。その程度は農林1号、Surjamkhiで高く、Marich-bati、ササニシキで低かった。

このように、CO₂濃度を高めるといずれの品種の生長も促進され、紫外線による生育阻害は減少する。しかし、高濃度のCO₂処理により生育が促進される品種が必ずしも高濃度のCO₂濃度による紫外線の生育阻害の高い回復を示すものではなかった。

C₃植物の光合成に大きく影響する光呼吸は、高CO₂条件で低下する。また、気孔からのCO₂の吸収は植物体の内外のCO₂の濃度差に依存し、葉の内部空間のCO₂濃度が低い条件、つまり光合成活性が高いと増す。一方、イネの気孔の開閉は紫外線照射によって抑制され、葉内におけるCO₂の拡散に対する抵抗は増加する⁽²⁵⁾。したがって、昼間の高CO₂条件における生育の促進は当然のことかもしれない。現在、複合環境要因の解析を続行中である。

6. 紫外線抵抗性の遺伝的変異

紫外線抵抗性の強いササニシキと弱い農林1号を交配し、得られたF₂個体およびF₃系統を用いて遺伝解析を行なった。F₂個体に関しては新鮮重、第4葉のクロロフィル含量を、F₃系統に関しては1系統につき30個体の第4葉の傷害程度を5段階に分けて判定し調査した。傷害程度1は傷害なし、2は褐色の傷害が葉面積の20%未満、3は50%未満20%以上、4は80%未満50%以上、5は80%以上とし、傷害程度1、2、3を強い抵抗性個体、4、5を弱い個体と判定した。

紫外線照射区でのササニシキ(雌)×農林1号(雄)の交雑個体および親植物のクロロフィル含量の頻度分布を図3に示した。交雑個体の頻度分布は農林1号の側にシフトした。このようなシフトはササニシキ(雄)×農林1号(雌)のF₂集団でも見られた。また、新鮮重に関しても同様の結

図3 ■紫外線照射下におけるササニシキ(雌)×農林1号(雄)のF₂集団の第4葉のクロロフィル含量の頻度分布
S:ササニシキ, N:農林1号, F₂:F₂集団, +UV,-UV:紫外線照射下,非照射下で育てた植物の第4葉のクロロフィル含量

果を得ている。さらに、ササニシキ(雌)×農林1号(雄)の第3世代82系統を調査した結果、強い抵抗性系統:分離系統:弱い抵抗性系統の比は、1:65:16であった。これらの結果は、ササニシキと農林1号との間に見られる紫外線抵抗性の差異が2個以上の劣性の主働遺伝子により支配されている可能性を示唆している。

先述のように、日本イネ品種の遺伝的変異は狭小であるといわれている。また、ササニシキと農林1号は近縁関係にある。コシヒカリ、農林6号、農林8号などのササニシキと近縁の品種の紫外線抵抗性も調べたが、ササニシキが突出していた。紫外線に対する強い遺伝的形質がどこからササニシキに導入されたのか、大変興味の持たれる問題である⁽²⁷⁾。

*

最初の実験材料にササニシキなど日本型イネ4品種をとり上げたことに唐突な感じを持たれた方がおられるかもしれない。通常であれば、紫外線の多い赤道付近や高山で栽培されている品種、あるいはフラボノイドなどの色素を多く含む品種などを選ぶであろう。理由は単純である。もともと糸状菌の光形態形成に関する研究をしてきた筆者がイネについてまったく無知であったことによ

る。ただ、筆者としてはササニシキは日本を代表するイネであり、農林 20 号は早生、他の 2 品種はいわゆる穂重型、穂数型で、先述のように草型、特徴が異なるので、紫外線に対して何か品種間に差異が見られるのではないかという期待は持った。しかし、驚いたことに、日本型水稻グループに紫外線に強い品種が多く含まれており、近縁にもかかわらずササニシキは紫外線に強く、農林 1 号は弱いことが示された。最近、紫外線によって合成誘導されてくるフラボノイド含量に両品種間で差異があることが、当センターの佐藤ら（未発表）によって得られつつある。紫外線に対する防御機構、あるいは適応の面から大変興味が持たれる。

紫外線の効果についての研究は、モデル植物における特定の形質の生理生化学的側面を解析するものが多く、個体全体、生態系、あるいは野外における研究はきわめて少ない。紫外線の影響は他の環境要因によって大きく左右されるので、今後、作物や生態を相手にした野外における解析が多く行なわれる必要がある。筆者らの研究は現在まったく入口にいる段階であるが、さらに発展させたいと思っている。

文献

- 1) H. Johnstone : *Science*, 173, 517 (1971).
- 2) M. Molina & F. S. Rowland : *Nature*, 249, 810 (1974).
- 3) K. P. Bowman : *Science*, 239, 48 (1988).
- 4) R. Watson : NASA Reference Publication, 1208 (1988) cited from *Crop Sci.*, 32, 1269 (1992).
- 5) J. F. Bornman & T. C. Vogelmann : *Physiol. Plant*, 72, 699 (1988).
- 6) A. H. Teramura : *Physiol. Plant.*, 58, 415 (1983).
- 7) J. F. Bornman & A. H. Teramura : "Environmental UV Photobiology", ed. by A. R. Young, L. O. Bjorn, J. Moan and W. Nultsch, Plenum, New York & London, 1993, p. 427.
- 8) 岡市協生, 森 俊雄, 大西武雄 : *J. Act. Oxyg. Free Rad.*, 4, 13 (1993).
- 9) A. P. M. Eker : "Molecular Models of Photoresponsiveness", ed. by G. Montagnoli and B. F. Erlanger, Plenum 1983, p. 109.
- 10) F. E. Quate, B. M. Sutherland & J. C. Sutherland : *Nature*, 358, 576 (1992).
- 11) S. E. Freeman, H. Hacham, R. W. Gange, E. J. Maytum, J. C. Sutherland & B. M. Sutherland : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86, 5605 (1989).
- 12) M. M. Caldwell : "Photophysiology", Vol. VI, ed. by A. C. Giese, Academic Press, New York & London,

1971, p. 131.

- 13) B. Langer & E. Wellmann : *Photochem. Photobiol.*, 52, 861 (1990).
- 14) Q. Pang & J. B. Hays : *Plant Physiol.*, 95, 536 (1991).
- 15) A. B. Britt, J.-J. Chen, D. Wykoff & D. Mitchell : *Science*, 261, 1571 (1993).
- 16) C. F. Beggs, E. Wellmann & H. Grisebach : "Photomorphogenesis in Plants", ed. by R. E. Kendrick and G. H. M. Kronenberg, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, 1986, p. 487.
- 17) M. Tevini, J. Braun & G. Fieser : *Photochem. Photobiol.*, 53, 329 (1991).
- 18) J. Li, T.-M. Ou-Lee, R. Raba, R. G. Amundson & R. L. Last : *Plant Cell*, 5, 171 (1993).
- 19) E. Schmelzer, W. Jahnke & K. Hahlbrock : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 85, 2989 (1988).
- 20) T. Kumagai & T. Sato : *Jpn. J. Breed.*, 42, 545 (1992).
- 21) A. H. Teramura, J. H. Sullivan & J. Lydon : *Physiol. Plant.*, 80, 5 (1990).
- 22) N. Takahashi : "Biology of Rice", ed. by S. Tsunoda and N. Takahashi, Japan Sci. Soc. Press/Elsevier, 1984, p. 31.
- 23) 高橋成人 : "イネの生物学", 大月書店, 1984, p. 214.
- 24) T. Sato & T. Kumagai : *Jpn. J. Breed.*, 43, 61 (1993).
- 25) Q. Dai, V. P. Coronel, B. S. Vergara, P. W. Barnes & A. T. Quintos : *Crop. Sci.*, 32, 1269 (1992).
- 26) A. H. Teramura, L. H. Ziska & A. E. Szein : *Physiol. Plant.*, 83, 373 (1991).
- 27) T. Sato, H. S. Kang & T. Kumagai : *Physiol. Plant.*, 91, 234 (1994).

教官公募

名古屋大学理学部生物学科教授

研究分野 : 生物学の最先端で活発な研究活動を展開されている方(植物を主要な研究材料としている方が望ましい)

応募締切 : 平成 6 年 9 月末日

発令時期 : 平成 7 年 4 月 1 日 (予定)

応募書類 : 履歴書, 論文目録, 主要な論文の別刷 5 編以内(最近の総説があればそれを含めて), 現在までの研究歴, 研究概要, 主要論文の位置づけ (2000 字以内), 今後の教育, 研究に対する抱負 (2000 字以内), その他の参考事項 (①過去 5 年間の科学研究費補助金, 研究助成金などの受領状況, ②過去 5 年間の国際会議での招待講演, 国際会議主催などの記録, ③過去 5 年間の国内シンポジウム, ワークショップ, 教育コースなどのオーガナイザーとしての活動状況, ④所属学会, 学会活動(役職等があればそれも), ⑤推薦書(2 通以上), ⑥その他, 応募者を特記できる事項)

書類送付先, 問合せ先 :

〒464-01 名古屋市中千種区不老町 名古屋大学理学部生物学科 人事委員長 郷 通子
Tel. 052-789-2503 (ダイヤルイン), Fax. 052-789-2977 (専用)

応募書類封筒にはその旨を書願います。