

ブラジル植調の拡充整備問題は、残されたただ一つの気がかりの課題と考えておりますが、これは当国の財政経済事情の落着きを待って対処するはか当の方策を見出すことが困難な問題と考えます。引続きその国情のなりゆきを見守って行って欲しいと存じます。

今後は、私の身近な果樹業界において、本協

会の事業推進に対し、陰ながら応援して参るとともに農薬製造各社の新しく登録される薬剤の円滑な普及に微力ながらお役に立って参りたいと考えております。

ここに在任中、ご指導、ご支援、ご協力を賜りました、多数の関係者の方々に衷心よりお礼申し上げます退任のご挨拶といたします。

パラコート抵抗性雑草について

農林水産省農業研究センター作物第一部芋類栽培研究室長 渡辺 泰

1. はじめに

農薬の連用に伴う病虫害の抵抗性発現の問題は広く知られており、薬剤の開発や施用に際しての一般的留意事項となっている。雑草についても、文献によるとイギリスの研究者達は除草剤の実用化当初から抵抗性発現の不可避性を指摘し、その回避策を論じていたが、雑草の除草剤抵抗性発現の問題はあまり関心が払われていなかった。

しかし、アメリカのワシントン州におけるシマジンとアトラジンに対する抵抗性ノボロギクの発現例が昭和45年に報告される¹⁾に及び、研究者の注目をひくこととなった。その後、トリアジン系除草剤に対する抵抗性雑草の発現が各国において相ついで確認され、その数は昭和56年11月現在、18属30種に達し、アメリカの23州とカナダの4つの州およびヨーロッパの7か国で発現しているという²⁾。昭和57年にアメリカの John Wiley & Sons 社から出版された Le Baron と Gressel 編の“Herbicide Resistance in Plants”をみると、欧米

におけるこの分野の研究は著しく発展していることがわかる。

幸い、わが国ではトリアジン抵抗性雑草の発現例が知られていないこともあって、この問題についての関心は必ずしも高くはなかった。しかし、最近パラコートに対する抵抗性雑草として埼玉県におけるハルジョオン³⁾、大阪府におけるヒメムカシヨモギ⁴⁾の例が発見されてから、わが国でも一般の関心をよぶようになった。現在、パラコート抵抗性雑草の発現例は外国でも二、三知られている。

筆者らは、わが国で最初の除草剤抵抗性発現例として、パラコート抵抗性ハルジョオンを発見する機会に遭遇したので、以下、その経過を中心にパラコート抵抗性雑草について紹介したい。

2. パラコート抵抗性雑草

1) ハルジョオン

(キク科 ムカシヨモギ属 学名; *Erigeron philadelphicus* L.)

(1) 抵抗性の確認

筆者らは昭和55年夏に旧農事試験場職員の小林徳三郎技官より、氏の所有している吹上町荒川河川敷の桑園にパラコートに全く反応しない雑草が繁茂、増殖（写真1）して困っているという事実を知らされた。最初は薬剤施用上に問題があったのではないかと疑問をいだいたが、ともかく雑草の種名を確認したうえで、氏の使用しているパラコート（パラゼット）を供試し、二、三の薬剤とともに現地で試験を試みることにした。



写真1. パラコート抵抗性ハルジョオン繁茂状況
(昭和55年9月20日)

問題の雑草は科学博物館に同定を依頼し、ハルジョオンであることを確かめた。この雑草は、アメリカからの帰化植物であり、関東地方に多く分布し、種子と根で繁殖する多年草である。また、変異の大きいことが特徴である。

現地試験の結果は、パラコートに対し間違いなく抵抗性であることを示していた（表1）。そして、ベントザン・MCPAおよびグリホサートには抵抗性を持たないことも確認された³⁾。

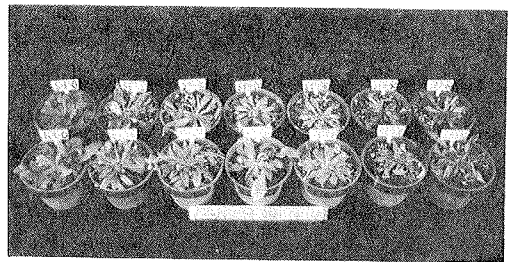
ついで、昭和56年11月にロゼット状のハルジョオン株を現地試験桑園およびパラコート散布歴のない場所から採集し、温室で養成し、パラコートとジクワットの施用量試験を実施した。その結果、普通のハルジョオン（パラコート感

表1. パラコート抵抗性ハルジョオンを発見した桑園における二、三除草剤の殺草効果試験

除 草 剤 名	薬 量 (成分 g/a)	残 草 量 (g/m ²)
パラコート ジクロライド (グラモキソン)	9.6	93.9
パラコート ジメチルサルフェート* (パラゼット)	11.4	102.7
ベントザン水和剤	60.0	8.1
M C P A	3.9	25.9
グリホサート	41.0	0
無 処 理	—	92.8

注) *印は当該農家の使用剤型、残草量は処理3週間後の乾重を示す。

受性)は、成分5 g/a処理で地上部は枯死するが、抵抗性の株は20 g/a処理までは無処理株の生育とほとんど差異がなく、160 g/a処理でも完全に枯死することはなかった（写真2）。ま



注) パラコート濃度(成分 g/a) 左から
0, 5, 10, 20, 40, 80, 160.

写真2. パラコート抵抗性（前列）および感受性（後列）ハルジョオンのパラコート処理1週間後の状況

た、ジクワットに対しても、パラコートよりその程度は弱いながら、明らかに抵抗性を有していることが判明した（図1）。

そこで、抵抗性個体と感受性個体の葉身から打ち抜いた円形葉片をパラコート溶液に浸漬し、葉色の退色程度とパラコートの濃度との関係から抵抗性の程度を推定してみた。それによると、抵抗性ハルジョオンは普通のものの100倍近い強さをもっていることが推測された（図2）。この抵抗性は、種子からの芽生えでも（写真3）

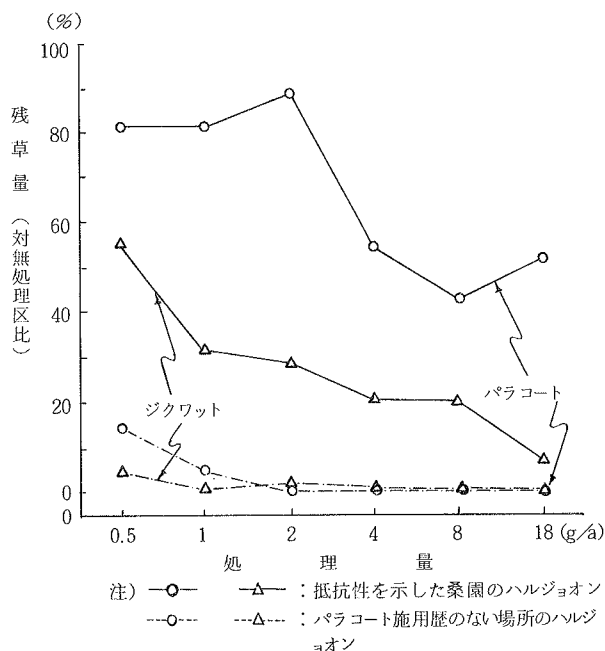
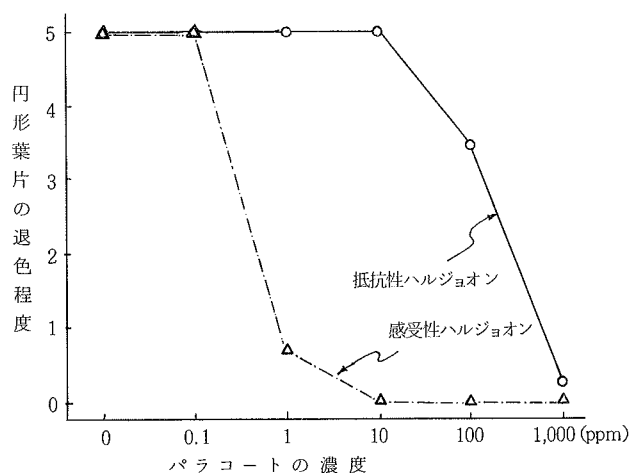


図1. 抵抗性および感受性ハルジョオンのパラコートとジクワットに対する反応



注) ①実験条件: 葉片の径8mm, 25℃ 5000lux, 48hr.
 ②退色程度判定: 変化しないもの(5)から緑色を完全に失なったもの(0)まで6段階に分けた。

図2. 抵抗性および感受性ハルジョオン葉片のパラコート溶液中における退色程度の差異



注) 製品50 g/a 処理1週間後の状況(昭和56年7月4日)。

写真3. 抵抗性発現桑園におけるハルジョオン幼植物のパラコートに対する反応

から養蚕農家が国(内務省)から河川敷を借用して桑を栽植してきたが、近年、桑園は減少の一途をたどっている。昭和56年2月現在の面積は48戸で約50 haを栽培していた。耕地整理が行なわれていないため、一筆面積が不定形で小さく、1 a未満の小園を10筆以上管理している農家もある。また、兼業農家が多く、基本的な管理が行なわれていない桑園もみられた。

パラコート使用以前の桑園の雑草管理は、中耕・培土・手取り除草など多くの労力を投下し、比較的周到に行なわれていたが、パラコートが

不定根から出芽した幼植物でも成植物と変わらなかった。

(2) 抵抗性発現地域の特徴と当該桑園農家のアンケートに対する回答

抵抗性ハルジョオンが発現した地域は、戦前

導入されてからは、雑草防除は専らパラコート施用のみとなった。農家のアンケートに対する回答によれば、パラコート導入当初は年2～3回施用であったが、昭和50年代には年3～4回施用となっていた³⁾(表2)。標準的な施用時期

表2 パラコート抵抗性ハルジョオンを発見した地区の養蚕農家のアンケートに対する回答

パラコート使用開始時期		パラコート年間施用回数			ハルジョオンの侵入時期		抵抗性ハルジョオンを最初に気づいた時期	
時 期	割 合	回数	割 合		時 期	割 合	時 期	割 合
			以 前	最 近				
昭和45年	26.3%	1回	2.6%	0%	昭和25年頃	2.7%	昭和45年	7.9%
46	36.8	2	44.7	5.3	30	10.5	46	15.8
47	7.9	3	44.7	44.7	35	10.5	47	28.9
48	10.5	4	5.3	42.1	40	39.5	48	31.6
49	2.7	5	2.7	7.9	50	28.9	49	5.3
50	7.9				不 明	7.9	不 明	10.5
不 明	7.9							

注) 調査は48戸を対象に昭和56年3月に実施し、38戸から回答を得た。

は、①桑の萌芽前(3月下旬～4月上旬)、②第1回の桑刈取後(6月上～中旬)、③初秋蚕後(8月中～下旬)である。4回の場合は、桑の落葉前に施用していた。しかし、抵抗性ハルジョオンが広がってからは、パラコートに他の薬剤を混用したり、別の除草剤を施用するようになんて変わってきた。

パラコート施用の経過および抵抗性ハルジョオンについてみると、68%の農家が昭和44～45年にパラコートをを使い始め、そのうちの60%が昭和52年以前に抵抗性ハルジョオンの発現に気づいている。

(3) 抵抗性個体の分布

吹上地区の抵抗性ハルジョオンの分布範囲は小地域に限られており、直線距離で南北3km弱、東西幅は荒川左岸150～700mにすぎない。一筆当たりの抵抗性株の出現割合をみると、地区の中央部で高く、周辺部で低くなっている⁵⁾。このことから、抵抗性ハルジョオンは地区の中央部で発現し、周辺の桑園へ種子で伝播したのではないかと推察される。注目されることは、パラコートを施用している採桑園では抵抗性株の出現率が高く、そこに近接していてもパラコート施用が行なわれていない放棄桑園・堤防・

荒地・土取跡地などには抵抗性株が極めて少ないことである⁶⁾(表3)。これは、抵抗性ハルジョオンの増殖にはパラコート施用下の条件が必要であることを示唆している

表3 土地利用区分別の抵抗性株出現率

(伊藤・宮原)⁶⁾

土 地 区 分	調査数	抵抗性株の割合
採 桑 園	21	80.5%
採 桑 園 周 辺	15	47.5
放 棄 園	2	0.0
堤防・荒地・土取跡地	10	2.1

注) 放棄桑園は1～2年前より採桑していない桑園

ように思われる。

最近、埼玉県内では吹上地区のほかに坂戸市を中心として、日高町・東松山市・熊谷市に至る道路沿いの桑園で抵抗性ハルジョオンの分布が確認されている⁷⁾。今後、埼玉県以外の桑園でも詳細な調査が望まれるところである。

2) その他の雑草

ヒメムカシヨモギ

(キク科 ムカシヨモギ属, 1年草または越年草. 学名: *Erigeron canadensis* L.)

大阪府羽曳野市の大阪府農林技術センターでブドウ園のヒメムカシヨモギがパラコートに反応しないことが、昭和55年夏に初めて観察された。試験の結果、ハルジョオン同様に普通のヒメムカシヨモギに比べ100倍近い強い抵抗性を示した。さらにジクワットに対しても、パラコートより程度はやや弱いながらも抵抗性を有し

ていることが確認された⁴⁾。この雑草もハルジョオンと同属で、北アメリカからの帰化雑草であることは興味深い。

昭和56年には、羽曳野市や柏原市などのブドウ園にも、抵抗性ヒメムカシヨモギが発現していることが判明した。これらのブドウ園では、昭和44～45年頃にパラコートが導入され、当初は年1回施用であったが、まもなく年2回施用となり、昭和50年頃には年3回施用となっていたという。

神戸大学の松中教授によれば、最近、同大学の構内でも数株のパラコート抵抗性ヒメムカシヨモギの発現が確認されたという。

Conyza linifolia *Erechtites*

(キク科 イズハハコ属, 1年草または越年草)

この雑草は日本には自生していないが、この属は以前はムカシヨモギ属に含めていたこともあり、ハルジョオンやヒメムカシヨモギに近縁の植物である。Gressel⁸⁾らは北アメリカ以外の地域を対象とした抵抗性雑草発現例についての総説を行なっている。その中に、この雑草がパラコートを年5回も施用していたエジプトのブドウ園および柑橘園において、抵抗性を発現したことが記載されている。

スズメノカタビラ

(イネ科 イチゴツナギ属, 1年草または越年草. 学名: *Poa annua* L.)

この雑草は旧世界原産であるが、現在全世界に自生している。Gressel⁸⁾らによれば、イギリスのリーデングに近い野菜園芸農家が農道や苗床の除草のため、10年間にわたりパラコートを年2～3回施用してきたところ、昭和53年になってこの雑草がパラコートに抵抗性を発現し、標準の4～5倍の濃度では防除できなく

なったという。

ベレニアルライグラス (ホソムギ)

(イネ科 ドクムギ属, 越年草または多年草)

パラコート連用による抵抗性発現例ではないが、この植物が牧草であるため、北アイルランド、クイーンズ大学の Foulkner⁹⁾らはこの植物のパラコート耐性に種内変異があることに着目し、普通品種よりも3～10倍強いパラコート耐性品種を選抜した。この植物は、パラコート耐性の機構解明に供試されてきた。

3. パラコートに対する抵抗性発現機構および抵抗性機構

パラコート抵抗性雑草がどのような機構によって発現したかを知することは、その回避策を講ずるうえで重要なことであるが、そのような実験的研究報告は公表されていない。

雑草の除草剤抵抗性発現機構についての代表的考え方は、薬剤による遺伝的抵抗性個体の選択である²⁾。植木・山末は¹⁰⁾、ある種個体群が薬剤淘汰にさらされたとき、それまで適応・競争力の劣るものとしてまれに存在していた抵抗性個体が「正常」な感受性個体の淘汰の結果、繁殖・優占化して個体群として薬剤抵抗性が発達するとしている。この考え方によれば、抵抗性が発現するためには雑草の種個体群内に薬剤抵抗性遺伝子が存在することと、薬剤の継続的な施用が結びつかなければならない。そして、抵抗性の発現の速度は薬剤の淘汰圧(大きさ・期間)、植物の遺伝的構造(遺伝子の数・優劣性・突然変異率・組換え発現率)および組換え率を規定する繁殖様式に影響されるといわれている¹¹⁾。

以上の理論にしたがえば、パラコート抵抗性雑草の発現は、もともと抵抗性遺伝子を保有し

ていた種個体群にパラコートを経期間連用したために、前述のような過程をへて発達したものと考えられる。

抵抗性の機構は、発現機構に比べ研究しやすいため、早くから *Conyza linifolia* やペレニアルライグラスを用いて、アメリカ・ヨーロッパで研究が行なわれてきた。ハルジョオンについても“Herbicide Resistance”の編者の一人であるイスラエルの Gressel が、早速種子の提供を求めてきた。筆者らは、わが国の研究者によって解明されることを願い、昭和56年2月に旧農業技術研究所生理第6研究室の千坂室長に事実の経過を説明し、材料を提供した。最近、その研究成果が公表された^{12~14)}。

現在のところ、ペレニアルライグラスの場合と同様に、ハルジョオンでも抵抗性と感受性との間にはパラコートの吸収、移行には差がない¹³⁾ (表4)。しかし、パラコートの作用点とされ

表4 ¹⁴C-パラコートの処理10日後の分布
(坂・千坂)¹³⁾

部 位	感 受 性			抵 抗 性		
	処理濃度(ppm)			処理濃度(ppm)		
	15.6	78	780	15.6	78	780
処理葉	% 97.7	% 98.4	% 97.5	% 98.9	% 99.0	% 98.0
隣接葉	1.2	0.4	1.7	0.7	0.2	0.2
隣接茎	0.6	0.2	0.5	0.1	0.1	0.7
根 部	0.5	1.0	0.4	0.3	0.7	1.2
処理茎 外への 移行率	2.3	1.6	2.5	1.1	1.0	2.0

ている葉緑体内のスーパーオキシドデスムターゼの活性は、抵抗性が感受性よりも高いことが認められている。現在のところ、坂・千坂はこの高活性の酵素がパラコート処理によって生ずる O₂⁻ イオンを消失させ、解毒しているものと考察している^{12,13)}。なお、これらの報告で注目されることは、感受性株が抵抗性株よりもク

ロロフィル量・光合成・呼吸速度・ATP量など、生理的特性が若干ながら上回っている点である。とくに蒸散量は有意に高い。

伊藤・宮原¹⁵⁾は、パラコート抵抗性は優性の一遺伝子によって支配されているのではないかと推定している。

4. 抵抗性雑草発現回避策および抵抗性雑草の防除対策

いかにしてパラコート抵抗性雑草の発現を防止するかは、抵抗性雑草の発現機構が解明されれば容易なことであろう。いまのところ、前述のような理論にもとづき、作用機構の異なる薬剤を輪換施用することや相乗作用のある薬剤との混用などが必要と考えられている²⁾。現在、抵抗性が発現していない雑草が、将来ともパラコートの長期連用により抵抗性を発現しないという保証はないので、極端な連用は避けた方が賢明である。

一度抵抗性を発現した雑草をどう防除するかは、吹上地区の例にみられるように深刻な問題である。発生量がわずかであれば人力で除去することも容易であるが、普通は増殖・繁茂したあとで気づくことが多いと思われる。いずれにしても、最初に分布範囲を確認し、増殖を抑えることが大切である。そして、除草剤の種類を変えたり、薬剤以外の防除法を講ずるなど、常識的方法にたよらざるを得ないであろう。一般的に抵抗性雑草の防除には、発現前よりも除草に要する費用は増加することになる。

5. お わ り に

現在、パラコート抵抗性雑草は極く限られた地域に、限られた雑草のみに発現しているに過ぎない。今後、抵抗性の機構とともに、なぜハ

ルジオオンなど限られた草種のみに抵抗性が発
現したのかを、実験的、理論的に解明する必要
があろう。これらの知見は、パラコート抵抗性

雑草の発現回避策ばかりでなく、今後の薬剤の
開発や雑草防除技術の確立にあたって、有益な
示唆を与えるに違いない。

引用文献

- 1) Ryan, G. F. : Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. Weed Sci. 18, 614~616 (1970).
- 2) 渡辺泰 : 除草剤抵抗性の現況, 深見順一・上杉康彦・石塚皓造編 : 「薬剤抵抗性」, ソフトサイエンス社, 東京, 327~341 (1983).
- 3) 渡辺泰・本間豊邦・伊藤一幸・宮原益次 : パラコート抵抗性のハルジオン (英文), 雑草研究, 27, 49~54 (1982).
- 4) 加藤彰宏・奥田義二 : パラコート抵抗性のヒメムカシヨモギについて, 雑草研究, 28, 54~56 (1983).
- 5) 渡辺泰・伊藤一幸・本間豊邦 : 吹上地区荒川河川敷内桑園におけるパラコート抵抗性ハルジオンの分布, 雑草研究, 27 (別), 89~90 (1982).
- 6) 伊藤一幸・宮原益次 : 土地利用区分とパラコート抵抗性ハルジオンの分布, 雑草研究, 28 (別), 187~188 (1983).
- 7) 埴岡靖男 : 埼玉県内桑園におけるパラコート抵抗性ハルジオンの分布, 雑草研究, 28, 210~211 (1983).
- 8) Gressel, J. et al. : Discovery and distribution of herbicide-resistant weeds outside North America. "Herbicide-Resistance in Plants" ed. by H. M. LeBaron and J. Gressel, John Wiley & Sons, New York (1983).
- 9) Faulkner, J. S., C. B. Lambe and B. M. R. Harvey : Towards an understanding of paraquat tolerance in *Lolium perenne*. Proc. 1980 British Crop Prot. -Weeds, 445~452 (1980).
- 10) 植木邦和・山末祐二 : 雑草における除草剤感受性の種内変異と抵抗性発現, 日本農薬学会誌, 3, 445~450 (1978).
- 11) Holliday, R. J. and P. D. Putwain : Evolution of resistance to simazine in *Senecio vulgaris* L. Weed Res. 17 : 291~296 (1977).
- 12) 坂斉・千坂英雄・上園孝雄 : パラコート耐性ハルジオンの耐性機構について, 雑草研究, 27 (別), 61~62 (1982).
- 13) 坂斉・千坂英雄 : パラコート耐性ハルジオンの耐性機構について(2), 生理的諸特性, 雑草研究, 28 (別), 191~192 (1983).
- 14) 坂斉・長田隆・千坂英雄 : パラコート耐性ハルジオンの耐性機構について(3), カルスにおけ

る特性，雑草研究，28(別)，193～194(1983)。

- 15) 伊藤一幸・宮原益次：ハルジオンにおけるパラコート抵抗性の遺伝様式(予報)，雑草研究，28(別)，185～186(1983)。

水田雑草—アカウキクサ の生態とその利用

農林水産省九州農業試験場作物第1部作物第6研究室長 高林 実

かつて，アカウキクサ属は新潟県・熊本県において，水田雑草として防除の対象であった。

アカウキクサ属(アゾーラ)は，温帯および熱帯の池・灌漑水路・水田のような水性環境に広く分布している水生シダ類で，この植物がラン藻との共生による空中窒素固定能をもっていて，無窒素培地で速やかに増殖しうることに，植物学者のみならず，アジア諸国の農業技術者たちによって主として研究されていた。その窒素固定力の大きさは，マメ科植物と根粒菌の共生系を上まわるほどの重要な共生的窒素固定系である。

化石燃料に対する依存度の少ない農業を見直そうという気運から，このシダと藻類の共生系とその農業の利用についての関心は近年急速に高まってきた³⁾。

筆者は現在，農水省のバイオマス研究の中で，水生植物のホテイアオイの省力多収栽培を分担しているが，その利用のためには，その収穫・運搬・脱水等多くの解決すべき問題が残されている。

アゾーラの利用については，日本においてかつてレンゲを緑肥として利用した歴史があり，可能性があると考え，筆をおこした。生態とそ

の利用に関する詳細については，末尾に紹介する文献^{1,2,3)}にゆずり，日本の水田でアゾーラを利用するための条件，問題点を中心に述べてみたい。

1. 日本に自生するアカウキクサ類

大滝・石戸⁴⁾によると，*Azolla japonica* (オオアカウキクサ)と*A. pinnata* var. *imbricata* (アカウキクサ)の2種が存在する。前者は中部地区に後者は西南暖地に主として分布する⁵⁾。

なお，世界的には6種が知られている。

2. 環境条件とアゾーラの生育

杉野⁵⁾は，オオアカウキクサは20℃前後が生育の最適温度であり，アカウキクサは25℃前後が最適温度としている。

オオアカウキクサは，長期にわたって40℃にさらされれば死滅する⁶⁾。また，アカウキクサは熱帯産だが，月平均気温が30℃をこえる月では生育が著しく劣る³⁾。逆に，低温に対する限界温度についての検討例は見当たらない。

生育量と光照射量の関係では，飽和光量は50 klx くらいであるが³⁾，どの程度の遮光に耐え