

昆虫と紫外放射

まつもと よし はる
松 本 義 明*

はじめに

1982年、日本の南極観測隊員が南極上空のオゾンの減少を発見、1985年にはアメリカの気象衛星が南極上空に出現するホール状のオゾン低下現象をオゾンホールと命名、以来成層圏オゾンの減少による地表の紫外線**の増加の生物に及ぼす影響が懸念され、世界的な課題となっている。日本でも各分野で論議されているが、(社)照明学会では、1993年より「UVと生物産業に関する研究調査委員会」を設け、この問題を種々の面から討議し、1996年3月には報告書がまとめられ、1998年春には一般向けに単行書も出版される。筆者は同学会の求めに応じ同学会誌と同書に、光・UVと昆虫について小文(松本, 1996a, 1998)をまとめる機会を得た。

他方、日本ではかつてニカメイガの防除に青色蛍光灯が開発され、その基礎研究から多くの成果を得たにもかかわらず(籾木ら, 1939; 石倉, 1991)、この分野の研究はその後ほとんど進展していない。しかし近年にな

り、UV除去フィルムの使用によるハウス内害虫の密度の低減、あるいは光反射シートによる害虫の加害減少が報じられている。この機会に昆虫とUVとの関係を見直すのも意義があると考え、先の小文にさらにいくつかの知見・課題を加え、植物保護分野の方々の参考に供することとした。

I 昆虫のUV感受と色覚

イギリスのJohn LUBBOCK卿は1876年にアリがUVに反応して行動することを発見した(LUBBOCK, 1882)。アリは自分たちの幼虫や蛹を常に光の当たらない暗所に保護し、もしも光が当たればそれらを速やかに暗所に運ぶ。この習性を利用して、彼はプリズムの各分光スペクトルへのアリの反応を調べていたが、紫や青の色帯に蛹を置くと、アリは蛹を赤の色帯に運ぶ。ところが紫の色帯を越えた“暗い所”に蛹を置くと、アリは真っ先にそれを持ち去るのである。その場所に蛍光物質を置くことでUVの存在は確認され、UVをフィルターで除去するとアリのこの反応は消える。こうして昆虫によるUV認識が発見されたが、この発見は昆虫ばかりか、生物がUVに反応して行動することの最初の発見でもあった。

その後のK. VON FRISCHのミツバチを使った学習実験をはじめとする多くの研究、さらには近年の電気生理学的研究により、現在では、昆虫の可視波長域は一般にヒトのそれより約100nm短波長側に偏り、赤を見ることはできないかわりに、UVを見ることができるといのが定説となっている(KEVAN and BAKER, 1982; 富永ら, 1995)。

昆虫の光の主な受容器官は複眼と単眼で、UVも複眼と単眼により受容される。ミツバチの複眼を構成する個眼の視細胞に微小電極を刺入して細胞内記録をとる実験からUV、青、緑の3種類の視細胞が認められている。また、ミツバチでは可視波長域は300~650nmの範囲にあるが、行動実験からUV(300~400nm)、青(400~480nm)、青緑色(480~500nm)、黄色(500~650nm)を識別することが明らかにされている(三村, 1979; 富永ら, 1995)。このようにミツバチやマルハナバチ、またベニスズメでは3原色型色覚である。しかし、ナミアゲハでは赤にも感じ合計5種類の色受容細胞(UV・紫・青・緑・赤)(5原色)の存在が認め

* 東京大学名誉教授

** 従来、一般に紫外(可視光・赤外)線などの用語が用いられてきた。これらの用語で日常生活には一向にさしつかえない。しかし現在、専門分野の電気学会、照明学会ではこれらの用語に代えて、紫外(可視・赤外)放射を用いている。これは従来の用語が英語のultraviolet (visible, infrared) raysの訳語であったわけだが、raysが電磁波の実体を表す語に適合しないとして、IEC(国際電気技術標準会議)、CIE(国際照明委員会)がultraviolet (visible, infrared) radiationに変更したことによる。また欧米ではすでに生物学・昆虫学分野でもradiationが常用されて久しいようである。したがってここでも少々馴染みにくい用語ではあるが、表題にあえて「紫外放射」を用いる一方、本文中では字句の簡略化のために主にUVを使用した。

またUVは最近ではこれを細区分した波長域の概念を表す用語として、UV-A, B, Cが使われ、IECの用語集で次のような区分がなされている。

UV-A 315~400 nm

UV-B 280~315 nm

UV-C 100~280 nm

ただし、この区分については医学界などから若干の異議も出されているようである(照明学会, 1996)。

られ、昆虫では例外的なこととされている(富永ら, 1995)。しかし、ある種のハエはUVを識別しても青と黄を区別できなかったり、また別の昆虫は単に黒と白の区別しかできないという(KEVAN and BAKER, 1982; 富永ら, 1995)。

昆虫の複眼は、その部域により各色に対する受容細胞の分布、すなわち感受性が異なる。ミツバチやトンボではUVや青の受容細胞は複眼の側面よりも、天空からの情報を受け取る背側に多く分布する。天空の青空はUVや青に富んでいて、この背側のUV高感受性は昆虫のナビゲーションに重要であると考えられる。複眼の腹側には緑受容細胞があり、地上の緑植物を見ていることになるが、ナミアゲハやマダラメイガの一種 *Ephesia cautella* では背側のほかに、腹側にもUVの受容細胞が分布し、それは後述の花の蜜標識の探索に役立つと考えられている(富永ら, 1995; GILBERT and ANDERSON, 1996)。

他方、チャバネゴキブリではUVと青緑色の受容器が存在し、明期にUV、青緑色、白色光のそれぞれで照射すると、暗期の歩行活動が最も活発になるのはUVを照射したときで、青緑色がこれに次ぐという(LEPLA et al., 1989)。したがって、UVは昆虫の概日リズムにも関係することがわかる。概日リズムでは脳そのものが光を感じる事が近年になり明らかにされているので、UVが脳そのものに受容されている可能性もある。

いずれにせよ、一般に昆虫はヒトと異なり、UVを認識でき、それを種々の行動・生活に利用しているというのが今日の定説である。

II 昆虫のUV反射と配偶行動、種の隔離

モンシロチョウ(小原・日高, 1970)をはじめシロチョウ属(RUTOWSKI, 1981)の蝶は翅のUV反射を彼らの配偶行動に巧みに利用している。シロチョウ属の雌は雄に比べ黒色の斑紋部がやや大きく、多少黒っぽく見えるものの、遠くからは雄も雌も一様に白く見え、雌雄の区別は難しい。ところが、蝶の眼には全く違って見える。すなわち、雌の翅の鱗片はUVをよく反射するのに、雄の翅では逆にUVを吸収する。そこで通常、幼虫の食草となるキャベツなどのアブラナ科植物に静止している雌を探し求めて交尾する雄の眼には、雌は明るく見え、配偶者を見つけるのに大変都合なことになる。

蝶の翅のUV反射吸収の仕組みには様々な方式があり、シロチョウ属の雌のUV反射は鱗片の複雑な微細構造による光の散乱によってもたらされるが(HIDAKA and OBARA, 1970)、雄の翅がUVを強く吸収するのは、

鱗片中のプテリン色素類によると考えられる。シロチョウ属の翅には、ロイコプテリン、キサントプテリンなどのプテリン類が含まれている。モンシロチョウの雄には多量のロイコプテリンが存在するのに、雌にはほとんどない(MAKINOら, 1952; YAGI, 1954)。ちなみにプテリン類はUVをよく吸収する。またプテリン類はプリンのような窒素化合物からの代謝物質であり、雌では卵巣の発育に多量の窒素化合物を必要とするために、翅には蓄積されないと理解してよいだろう(松本, 1996a)。

一方、ヤマキチョウやツマキチョウなどでは、鱗片の多重薄層フィルムによる光の干渉作用により、UVを反射している(SILBERGLIED, 1979)。

ニュージーランドの *Lycaena* 属の3種のシジミチョウでは、前翅後翅ともに表面も裏面も雌雄の違いはヒトの眼にはほとんどわからず、UV下ではじめて識別できる。つまり、*L. salustius* の雄の翅では前翅後翅ともに広いUV反射部があるが、雌ではそれがきわめて小さく翅縁近くにスポット状にあるにすぎない。他方、他の2種 *L. rauparaha* と *L. feredayi* の翅では雌雄ともにUVを吸収する。雌雄間でUV2色型の *L. salustius* とUV吸収型の *L. rauparaha* あるいは *L. feredayi* とは同一地域に分布する同所性を示すが、後者の2種はそれぞれ別の地域に分布する異所性を示すという。したがって、この場合ではUVの反射・吸収が配偶行動や同所性の種の隔離に役立っていると考えられる(MEYER-ROCHOW, 1991)。このような関係はアメリカのモンキチョウの *Colias eurytheme* と *C. philodice* との間でも見られている。また翅のはばたきにより生じるUVパターンのフリッカーが、反射光に含まれる偏光とも組み合わせられて昆虫の眼に強い刺激を与えていると考えられている。他方、一般に蝶の翅や体に含まれる多量のフラボノイドは、有害なUVから身を保護していると解されている(WILSON, 1986)。

III 昆虫の訪花と花、クモのUV反射

昆虫が訪れるほとんどの花にはUV反射吸収のパターンがある。ヒトの眼にはマツヨイグサ(アカバナ科マツヨイグサ属)やキクイモ(キク科ヒマワリ属)の花は一樣に黄色に見えるが、蜜を貯える中心部の周囲にはUVを反射しない独特のパターンがあり、それが蜜標識(nectar-guide)の役目をしている。またこのパターンは小型の花よりも大型の花に、また当然のことながら風媒花や鳥媒花よりも虫媒花により一般的である(SILBERGLIED, 1979; 三村, 1979)。

ミナミキイロアザミウマは、白色系と青色系の色調に

誘引されるが、同じ色調でも誘引力に差がある。虫を強く誘引する色材の分光反射スペクトルはUVの反射率が極度に低いものであって、この成績をもとに青色の粘着リボン(青竜®)が実用化された(北方・吉田, 1982)。この結果は、以下に述べる筆者らのタマネギバエの研究にも活用され、同様の結果を得た(Ishikawa et al., 1985)。

タマネギバエはネギ属植物の苗のまわりの浅い土中に産卵し、ふ化した幼虫が苗を食害する。このハエがネギ属植物を選択する仕組みとして、ネギ属植物から放散される $C_3H_7S^-$ 基を含む揮発性有機硫黄化合物が雌を誘引し産卵を刺激すること、また幼虫もこれらの化合物に誘引されることなどが明らかにされているが(石川ら, 1980)、この研究の発展の一過程で、タマネギバエが好む色はUV反射が低く、ヒトの可視部の反射率が高い色であることが突き止められた。なお、この研究の前後にカナダとアメリカでもタマネギバエの好む色を探し求めていて、互いに黄色あるいは青色という異なる結果を得ていたが、筆者らの研究成果は、その食い違いが反射材料のUV反射率の相違にあったことを示唆することとなった。これらアザミウマやタマネギバエの色覚反応の生態上の意義については、直接の証明はないが、やはり野外の花への吸蜜訪花と関連があるとみてよいのではなかろうか。

UVパターンを昆虫の誘惑に利用しているのは花ばかりではない。多くのクモは自分の巣の糸に縋^{しづ}り十字状のUV反射パターンの装飾を施して昆虫を誘惑する(Craig and Bernard, 1996)。また薄暗い所に張られる巣では明るい所の巣よりも多くの装飾がなされていて(Elgar, et al., 1996)、なかには自己の体背面にUV反射パターンをもち昆虫を誘うクモもいる(Craig and Ebert 1994)。

IV 地球UV環境の変化と昆虫

オゾンのUV吸収波長域(約220~300 nm)は遺伝子DNAのそれとほぼ重なる。つまり成層圏オゾンの存在はUVのなかでもUV-B, Cの地上への到達を防いでいるわけで、オゾンが減少すればDNAに損傷を与えるUV-B, Cが増加する。現在は成層圏オゾン層は地球平均で-3.4%/10年の割合で減少しつつあるとみられるが、現在より仮に10%も減少すれば、300 nmより短いUVが地上に到達しはじめ、290 nmのUVは現在の3倍強になると推定されている(佐々木, 1996)。このようなUVの増加は昆虫にどのような影響を及ぼすであろうか。

UV-Bを照射された植物を食べた昆虫は摂食量が減少し、成長速度や生存率も下がることなどが、数種の昆虫で知られていて、その原因には植物中の光毒性のフラノクマリン類の増加や糖類の減少などが挙げられている。

ミカン科やセリ科に分布するフラノクマリン類は、昆虫に対して摂食を阻害したり毒性を示す。その一つキサントキシンはヨトウムシの一種 *Spodoptera eridania* に対して強い摂食阻害作用を示す(Berenbaum, 1978)。またソラレンとベルガブテンをタマネギウワバの幼虫に同時に与えた実験では強い毒性を發揮し、幼虫は生育途中で死亡している。しかしベルガブテン単独では毒性は低い(McCloud and Berenbaum, 1994)。フラノクマリン類は前駆物質のウムベリフェロンから合成され、とくにUVの照射下でその量が増加し、UVの照射下で毒性を發揮する(Berenbaum, 1978; McCloud and Berenbaum 1994; Zangerl and Berenbaum 1987)。

またアブラナ科の葉を食べるモンシロチョウ幼虫にUV-Bを48時間照射した葉を与えた実験では、その摂食量は約40%以上も減少し、また体重も齢の進んだ幼虫では約40%も軽くなった。摂食量の減少はUV-B照射により増加した葉中のフラボノイドが摂食阻害因子となったためと考えられている。しかし同じアブラナ科を食べるタマネギウワバでは影響は顕著ではなく、それはこの昆虫がモンシロチョウ広食性であり、フラボノイドへの耐性が強いのではないかと推論されている(Petersson and Renwick, 1996)。

一方、Yazawa et al. (1992)は摘採した桑の葉に照射強度0.2~0.6 mW/cm²の殺菌灯を1~30分間ずつ照射して、カイコに与えたところ、いずれの場合でもカイコの摂食量は約22%減り、0.4 mW/cm²以上1分間の照射では、カイコの体重が減少した。この摂食量の低下は桑葉中のショ糖含量の低下によるもので、0.5 mW/cm² 30分間のUVの照射により糖類は約49%も減少し、とくにショ糖含量の低下が大きい。そして、それがカイコの口器にある味覚感覚子の反応に著しい低下を招くことを電気生理学的に証明し、この味覚反応の低下がカイコの摂食行動を妨げているとしている。また200~388 nmの間を8区分して同一の強度で照射すると、280 nmで摂食量と体重増加量が最も減少した。一方、アワヨトウでは254~200 nmと388 nmで最も強く影響が現れたが、UV-B領域ではカイコよりもはるかに抵抗性が強く、昆虫の種により感受性が異なるとしている。さらにUVを照射した桑葉を分析し、摂食阻害活性が認められた酸性画分にファイトアレキシシンの

Moracin C と Moracin N の著しい増加を確認し、またこれらの2化合物に摂食阻害活性を認めた(矢澤, 1997)。

他方、UV-B を照射したカラシナ菜にミツバチを放し、訪花採蜜行動を調べたところ、訪花の総活動時間、訪花数、1花当たりの訪問時間・探索時間・花粉の採集量などいずれもとくに変化はなかったという観察もある(COLLINS et al., 1997)。

このように、UV の昆虫への影響についての知見は、現在のところ、昆虫の食物である植物を通しての影響を調べたものが大部分であるが、さらに多くの知見が集積される必要があろう。

昆虫自体への直接的影響については、陸生の昆虫では、植物の葉の陰に生息するものが大部分なので、強いUVを受けにくいということも考えられる。その点、海面に生活するアメンボのような昆虫となると状況はきびしいものがある。すなわち淡水や海岸近くの水面に生活するアメンボは、日照の強い時は物陰にかくれてUVから身を守るが、海面生活者のアメンボではUVから身を守るためになんらかの適応手段が進化しているはずである。海洋産のコガタウミアメンボ (*Halobates sericeus*) のクチクルのUV吸収スペクトルは、汽水産の *Rheumatobates aestuariu* や淡水産の *Gerris remigis* と質的には似通っている。しかしUV-Bの280 nmのクチクル透過率は *R. aestuarius* では0.4%、*G. remigis* では50%にも及ぶのに対して、*H. sericeus* ではわずか0.0002%である。この海洋産アメンボのクチクラの不透過性はおそらくチロシン、トリプトファン、フェニルアラニンなど芳香族アミノ酸の高含量によるものと考えられている(Cheng, 1985)。他方、蝶の翅や体に含まれる多量のフラボノイドが、UVからの保護に役立っていると考えられていることは先に述べたとおりである。

V UVの昆虫に対する致死作用

UVの中でも短波長のUV-Cは、DNAのUV吸収波長域と一致し、DNAのチミン等に二量体を形成することでこれを損傷する。これがUVの微生物に対する致死作用や突然変異誘発の主機構とされ、254 nm付近を主波長とする殺菌灯の殺菌の原理でもあるが、昆虫などの多細胞動物に対してはどうであろうか。岡本(1981, 1983, 1984 a, b, 1986)は殺菌灯を用いてゴキブリに対するUVの影響を詳細に研究し、UVがゴキブリの集合フェロモンを失活すること、また雌の卵鞘形成を阻害し、それはとくに卵鞘形成初期の第1段階(5段階に分類)に影響が強く出ること、UV感受性に日周変動

があること、UVの感受部位は触角基部のゴム状クチクラ下にある神経索状構造にあり、アラタ体ホルモンの支配を受ける腹部の膠質腺に組織学的変化が見られることなどを明らかにした。そしてUV照射による刺激が何らかの経路を経てアラタ体の活性を高め、これにより本来ならアラタ体の活性が抑制状態にあるはずの卵鞘形成初期のゴキブリで、膠質腺の合成と分泌能をかく乱し、これに伴い卵鞘成分の分泌量が低下し、卵鞘形成阻害が生じる、と推論している。

またチャバネゴキブリが多発している実験動物舎内のゴキブリの駆除試験に殺菌灯の利用を試み、約1か月間に生息数が約1/13にまで減少したと報告するとともに、従来いわれてきたUVによる障害に対する可視光の回復機構が働かない、ともしている(岡本, 1989; 1992; 1995)。

その他、従来からゴキブリ、カイコ、ショウジョウバエ、コマユバチなどでUVの致死効果が研究されているが、紙数の都合で文献等には上記岡本の報告に譲りたい。

VI UVと農業・衛生害虫

1 青色蛍光灯、ブラックライト

UVへの敏感な反応性、正の走光性とはとくに夜行性の昆虫で著しく、イネの害虫ニカメイガでも顕著である。戦前(1927)から戦中にかけて東大農学部動物学教室では農林省(当時)からの委託研究によりニカメイガの生態ととくに走光性について広範な研究が行われた。ニカメイガが330~400 nmの波長域に最もよく誘引されることが明らかになり(鐮木ら, 1939)、東芝マツダ支社(当時)により青色蛍光灯が開発された。時あたかも戦時中のため、この青色蛍光灯はようやく戦後の昭和22年ごろから5 ha当たり1灯の割合で全国的に使われ始め、昭和23年(1948)には34万 haの水田に普及したとみられている(石倉, 1991)。しかし昭和26年に浸透性殺虫有機リン剤パラチオンが登場し、昭和28年から全国的な使用が始まるとともに、急速に姿を消すに至った。いずれにせよ、このような電灯による害虫の防除がこれほど大規模に実施された例は世界にその類を見ないであろう。

なお、東大と平行してニカメイガの走光性を研究していた農林省農事試験場昆虫部の八木(1941)は、355 nm付近に最大感度があるとした。石倉(1952)は青色蛍光灯の主波長が440 nm付近にあり、上記のニカメイガの最大誘引波長域とずれていることに注目し、360 nmに主波長をもつ新型の蛍光灯360 BL(ブラックラ

イト、東芝試作品)を1949, 1950年の両年に試験し、360 BLのほうが雄蛾の誘引力がやや勝る結果を得たが、当時の試作品の蛍光物質は劣化が早く、明確な結論を下すにはいたらなかった。

他方、マレーシアの密林中のゴム園では、園の周縁に約90mの間隔でブラックライト(以下、BLとする)を設け、密林から飛来加害するコフキコガネ(*Lachnosterna bidentata*)を誘殺し、殺虫剤による防除に匹敵する効果を認めたという事例もある(西垣, 1983)。

現在では主波長を350 nm付近とした捕虫用BLが種々の害虫の誘殺に使用されている。ユスリカ類はアメリカ・フロリダ州の沼沢地帯や霞が浦、琵琶湖、諏訪湖など富栄養の湖水で大量に発生し、しばしば市民の交通、生活を妨害する。HIRABAYASHIら(1993a, b)は種々のランプを用いて諏訪湖に大量に発生するユスリカの誘殺を試み、可視光部では光量の大きいものほど、波長別では350 nm付近が成虫の誘殺に有効であるとし、4本の40 W BLを組み込んだ電撃殺虫器を20~30mの間隔で設置するのが捕獲効率が高く経済的にもすぐれているとしている。

なお最近ではこのようなBLを光源とする電撃殺虫器が、プレイの妨害となる昆虫の駆除を目的に野球、テニス、ゴルフなど夜間の野外スポーツ施設に設置されている。しかし無意味に昆虫を大量に殺している例も散見され、その設置・使用には、地球生物の多様性の尊重、自然保護の観点から十分な配慮が必要である。

イギリスのSYMS and GOODMAN(1987)は電撃殺虫器のUVランプに誘引されるイエバエの数を通常の交流のものと同直流のものとの比較した。ハエは圧倒的に交流ランプに誘引され、ランプの明るさを直流ランプより半減してもなお、交流ランプの側に多くが捕捉されたという。交流ランプでは電源周波数の2倍のサイクル(イギリスの場合では100 Hzとなる)で光束がフリッカーする。カ、ハエ、トンボなどとくに飛行速度の速い昆虫では、運動する物体を識別する運動視の能力が高い。つまり運動視の時間的分解能を可能にする“ちらつき光の臨界融合頻度(critical fusion frequency=CFF)”がヒト(せいぜい30~40 Hz)に比べて、ハエでは140 Hz(ハチ200~300 Hz, トンボ170 Hz)ときわめて高い(富永ら, 1995)。したがってハエは交流によるUVのちらつきを認識し、UVの放射自体とともに光のフリッカーを定位のための信号刺激として受け取っていると考えられるのである。

2 UVCフィルム(ultraviolet radiation cutting film)

作物の光合成にUVはむしろ有害であるということから、UVの透過を制限したUVCフィルムが開発され、これを使用したハウス内では野菜のうどんこ病や灰色かび病の胞子形成が抑えられ病害を防除できる。また害虫ではピーマン、キュウリ、トマトなどでアブラムシ、アザミウマ、オンシツコナジラミなど、またエンドウでナモグリバエの生息密度の低下が、そして昆虫媒介のウイルス病の発生の抑圧などが報告されている(永井・野中, 1982; 井口, 1995)。また最近ではイスラエルからもタバココナジラミやハナアザミウマで同様の効果が報告されている(ANTIGNUS et al., 1996)。これはUVのない環境下でこれら害虫の行動が抑圧、かく乱させられるためであろう。

イチゴの授粉にミツバチがハウス内に導入されているが、UVCフィルム使用のハウス内では正常に飛べない。しかし1991年末よりヨーロッパから導入されているセイヨウマルハナバチ(*Bombus terrestris*)は影響を受けずに授粉活動をするという(西口, 1995)。

3 光反射シートマルチング

光反射シートのマルチングにより果樹その他の作物上の害虫密度が低減することがトマトのアブラムシ、トウガン・キュウリ・イチジク・ミカンなどのアザミウマ類やミカンのコアオハナムグリなどで知られていて、シート上に落下した昆虫は正常な歩行飛び立ちができないことが観察されている(清田ほか, 1984; 土屋ら, 1995)。これは昆虫が本来もっている、天空からの光を背面に受けて歩行飛翔する“光背反応”が、光反射シートによる下方からの強い光反射のためにかく乱される結果と考えられるのである(松本, 1995, 1996b)。鈴木(1987)はキュウリにつくミナミキイロアザミウマに対するシートの反射特性と防除効果の関係を調べた。これによると、UVの360~380 nmの反射率が高いほど防除効果が優れていて、370 nmに27%の相対反射率をもつ反射シートで良い成績を得ている。

おわりに

以上、UVと昆虫の主に行動面との関係について最近の知見をまじえて紹介したが、昆虫が彼らの配偶、訪花、種間認識などの諸行動にUVをいかに巧みに利用しているか、いまさらながら感嘆させられる。しかし、夜行性昆虫のUVへの強い走光性一つとっても、その生態的意義は明確ではなく、光反射シートの効果の分析もいま一つ判然としない点もある。また地球環境の変化

によるUVの増強の影響についても、国内の研究者の関心はそれほど強いとはいえないのが現状であろう。UVと昆虫の関係には、まだまだ今後に残された課題が多い。

引用文献

- 1) ANTIGNUS, Y. et al. (1996) : Environ. Entomol. 25 : 919~924.
- 2) BERENBAUM, M. (1978) : Science 201 : 532~534.
- 3) CHENG, L. (1985) : Ann. Rev. Entomol. 30 : 111~135.
- 4) COLLINS, S. A. et al. (1997) : Ann. Ent. Soc. Amer. 90 : 102~106.
- 5) CRAIG, C. L. and G. D. BERNARD (1996) : Ecology 71 : 616~623.
- 6) ——— and K. EBERT (1994) : Functional Ecol. 8 : 616~620.
- 7) ELGAR, M. A. et al. (1996) : Austral. J. Ecol. 21 : 464~467.
- 8) GILBERT, H. L. and M. ANDERSON (1996) : J. Stored Products Res. 32 : 285~291.
- 9) GRANT-PETERSSON, J. and J. A. A. RENWICK (1996) : Environ. Entomol. 25 : 135~142.
- 10) HIDAKA, T. and M. OKADA (1970) : Zool. Mag. (Doubutsugaku Zasshi) 79 : 181~184.
- 11) HIRABAYASHI, K. et al. (1991 a, b) Jpn. J. Sanit. Zool. 44 : 33~39 ; 299~306.
- 12) 井口雅裕 (1995) : 今月の農業 39(1) : 47~49.
- 13) 石川幸男ら (1980) : 植物防疫 34 : 199~203.
- 14) ISHIKAWA, Y. et al. (1985) : Appl. Ent. Zool. 20 : 20~26.
- 15) 石倉秀次 (1991) : 誘蛾燈史—誘蛾燈による稲螟虫の防除. 植防資料館史料 No. 6, 164pp, 日植防.
- 16) 籾木外岐雄ほか (1939) 農事改良資料 no. 140, 178pp.
- 17) KEVAN, P. G. and H. G. BAKER (1982) : Ann. Rev. Ent. 28 : 407~53.
- 18) 北方節夫・吉田 守 (1982) : 植物防疫 36 : 478~481.
- 19) 清田洋次ら (1984) : 第28回 応動昆虫大会講要. および行徳裕氏からの私信(1995年9月).
- 20) LEPPLA, N. C. et al. (1989) : J. Insect Physiol. 35 : 63~66.
- 21) LUBBOCK, J. (1882) : Ants, Bees and Wasps : (以下略) D. Appleton & Co. 448pp [文献39)より引用].
- 22) MAKINO, K. et al. (1952) : Nature (London) 170 : 933~934.
- 23) 松本義明 (1995) : 応用昆虫学入門 (松本義明ら, 川島書店, 219pp.) : p. 58, 101.
- 24) ——— (1996 a) : 照明学会誌 80 : 33~37.
- 25) ——— (1996 b) : 新応用昆虫学三訂版 (斎藤哲夫ら, 朝倉書店, 280pp.) : p. 143~153.
- 26) ——— (1998) : UVと昆虫. 照明学会編. UVと生物産業. 養賢堂 (印刷中).
- 27) McCloud, E. S. and M. R. BERENBAUM (1994) : J. Chem. Ecol. 20 : 525~539.
- 28) MEYER-ROCHOW, V. B. (1991) : J. Roy. Soc. New Zealand 21 : 169~178.
- 29) 三村 堯一 (1979) : 昆虫の感覚生理. 昆虫の神経生物学 (立田栄光ら, 培風館, 251pp.) : p. 51~136.
- 30) 永井清文・野中耕次 (1982) : 植物防疫 36 : 466~468.
- 31) 西垣定治郎 (1983) : 静岡大農応用昆虫学研究室 特別報告 No. 5, 74pp.
- 32) 西口郁夫 (1995) : 今月の農業 39(12) : 51~54.
- 33) 小原嘉明・日高敏隆 (1970) : 自然 25(6) : 24~31.
- 34) 岡本紀久 (1981, 1984 a, b, 1986) : 衛生動物 32 : 29~36 ; 35 : 77~86 ; 35 : 373~379 ; 37 : 67~73.
- 35) ——— (1983) : 藤田学園医学会誌 7 : 183~188.
- 36) ——— (1989, 1992, 1995) : 衛生動物 40 : 259~267 ; 43 : 235~241 ; 46 : 9~17.
- 37) RUTOWSKI, R. L. (1981) : Z. Tierpsychol. 55 : 325~334.
- 38) 佐々木政子 (1996) : 照明学会誌 80 : 18~23.
- 39) 照明学会 (1996) : 照明学会研究調査報告書 (JIER-045), 137pp.
- 40) SILBERGLIED, R. E. (1979) : Ann. Rev. Ecol. Syst. 10 : 373~398.
- 41) 鈴木 寛 (1987) : 植物防疫 41 : 496~498.
- 42) SYMS, P. R. and L. J. GOODMAN (1987) : Entomol. Exper. Appl. 43 : 81~85.
- 43) 富永佳也編 (1995) : 昆虫の脳を探る, 共立出版, 280pp. : p. 48~80.
- 44) 土屋雅利ら (1995) : 応動昆虫 39(4) : 289~297.
- 45) WILSON, A. (1986) : J. Chem. Ecol. 12 : 49~68.
- 46) YAGI, N. (1954) : Proc. Japan Acad. 30 : 498~503.
- 47) 矢澤盈男 (1997) : 蚕糸昆虫研報 18 : 1~77.
- 48) YAZAWA, M. et al. (1992) : J. Chem. Ecol. 18 : 561~569.
- 49) ZANGERL, A. Z. and M. R. BERENBAUM (1987) : Ecology 68 : 516~520.

■ 日本植物防疫協会 発行 …… シリーズ図書 植物保護ライブラリー

茶の効用と虫の害

刑部 勝 著

B6判 : 本文166頁

本体1,263円(税別)送料240円

国立の研究機関で長年茶の害虫研究に携わってこられた著者が、蓄積されたデータを基に読みもの風にまとめたもので、内容は豊富で読みやすく、親しみやすい。

お申し込みは、直接本会出版情報グループに申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい

(株)本植物防疫協会 〒170-8484 東京都豊島区駒込1-43-11 TEL : (03)3944-1561 FAX : (03)3944-2103