

## クワ乳液の秘密：クワとカイコの攻防関係に迫る

農業生物資源研究所 今野 浩太郎

## はじめに

クワの葉はカイコの唯一の好適な餌植物として、我々になじみ深いものである。ところで、皆さんはクワの葉は傷口から白い乳液と呼ばれる液を分泌することをご存じだろうか(図-1)。我々は最近、クワの葉がカイコ以外の昆虫に対して強い毒性・耐虫性をもち、それが乳液に多量に含まれる糖代謝酵素の阻害剤として知られ、血糖値上昇抑制効果も報告される3種の糖類似アルカロイドなどに起因していることを解明した(KONNO et al., 2006)。では、カイコはなぜクワの葉を平然と食べることができるのだろうか。実は、カイコはクワ乳液の糖類似アルカロイドに影響されない酵素を発達させていたのである(HIRAYAMA et al., 2007)。

本稿ではクワ乳液が担うクワの耐虫性を明らかにし、カイコとクワの間に存在する「食うか食われぬか」の攻防関係の分子メカニズムに迫るとともに、クワ以外の多くの植物がもっている乳液が担う耐虫防御の役割に關しても論じる。

## I クワ-カイコ間関係の研究に関するこれまでの経緯

カイコがクワの葉を食べ、クワの葉しか食べないことは、数千年以上の養蚕の歴史の中で人類によく知られてきた事実である。クワ-カイコ関係は、いわば最も古くから人類に知られてきた植物-昆虫間関係であるともいえる。20世紀になって、生物の営みを物質・化学のことばで解明しようという機運が出てきたときに、クワ-カイコ間関係の本質を解明しようという試みも当然ながら行われた。例えば、浜村ら(HAMAMURA et al., 1962)は「カイコはなぜクワだけを食うか・食べようとするのか?」といった疑問に答えるべく、クワの葉からカイコの摂食行動を誘起する成分を探索した。その結果、クワの葉にはカイコを餌に引き寄せる物質(誘引因子)、カイコを餌にかみつさせる物質(かみつ因子)、カイコに飲み込ませる物質(飲み込み因子)が含まれており、

これら3種の因子の共存がカイコの摂食行動に必要であることを示した。そして、誘引因子としてシトラール、リナロール、青葉アルコール、青葉アルデヒド等を、かみつ因子として $\beta$ -シトステロール、イソケルシトリン、飲み込み因子としてセルロース、ショ糖、イノシトールを特定した。浜村ら(HAMAMURA et al., 1962)ほかの研究により、これらの物質は比較的ありふれた物質として多くの植物に含まれているが、これらの物質がすべて含まれており、摂食阻害物質が含まれていないのはクワだけであり、このためカイコはクワだけを食べることが判明した。そして浜村らのクワ-カイコ関係に関する業績は、植物-昆虫間相互作用の研究の古典として、この分野の世界の多くの教科書に記述されることとなった。クワとカイコの関係は、これで説明され解決されたのだとほとんどの人が考えたのであった。しかし、浜村らが説明したのはクワ-カイコ関係の一面であって、実は、まだ説明がされていない面が残っていたのである。

## II クワの葉の昆虫に対する毒性・耐虫性およびクワの乳液が毒性・耐虫性に果たす役割

クワの葉はカイコの好適な餌として養蚕に用いられてきたためか、クワの葉に毒性があるとは考えられてこなかった。実際、カイコではふ化時に0.5 mgだった体重が、20~25日後には1万倍の5 gにまで達する。また、クワの葉はタンパク質が豊富で乾物の25%に達するなど栄養価も大変に高く、優れた餌であることが理解できよう。

しかし、クワの葉はカイコ以外の、普段クワを食べていない昆虫に対しては、顕著な毒性を示すことが最近の

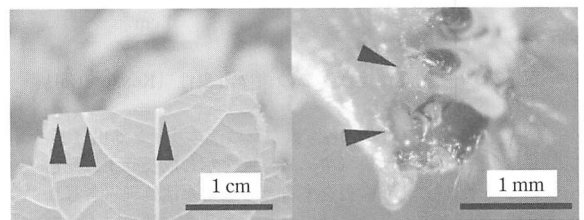


図-1 クワの葉の切り口から滲出する乳液(左写真矢印)と滲出した乳液(右写真矢印)を体の大きさに比較して大量に飲みながらクワの葉を食べるエリサン1齢幼虫(KONNO et al., 2006)

The Secrets of Mulberry Latex: Molecular Mechanisms of Mulberry-silkworm Relationships. By Kotaro KONNO

(キーワード: 植物-昆虫間相互作用, 耐虫性, 植物乳液, クワ, カイコ, 糖類似アルカロイド)

我々の研究によって明らかになった (KONNO et al., 2006)。クワの葉の一般の昆虫に対する毒性を調べるために、クワの葉をエリサン (*Samia ricini*, ヤガ科のガの幼虫。本来の食草以外の植物も摂食し、その植物に応じた中毒症状を示すため植物の毒性・防御活性のバイオアクセスに適した昆虫) やヨトウガ (*Mamestra brassicae*, ヤガ科, ヨトウムシ。広食生の大害虫) に食べさせ

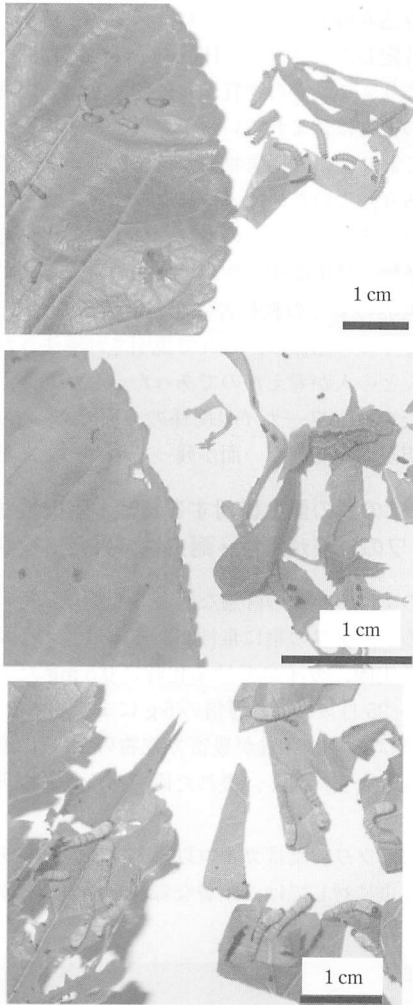


図-2 クワ乳液が担うクワの葉の耐虫性 (KONNO et al., 2006)

無傷のクワの葉 (各写真左) は、エリサン幼虫 (上) とヨトウガ幼虫 (中) に毒性を示し成長せずに死亡したが、乳液除去をするため細切水洗処理 (各写真右) をすると毒性は失われ、エリサン幼虫 (上) やヨトウガ幼虫 (中) は死亡せずに順調に成長した。カイコ (下) では、クワ無傷葉 (左) でも乳液除去葉 (右) でも全く同様に順調に成長した。試験開始4日後の写真。

せたところ、これらの昆虫は葉をかじるもののほとんど成長せず4日以内に死亡した (図-2上, 中の写真のそれぞれ左側; KONNO et al., 2006)。あの広食性の重要害虫であるヨトウムシでさえも食べることができないほど、クワの葉は毒性・耐虫性が強かったのである。ところで、クワの葉は葉脈を傷つけると、比較的少量の白い乳液を出すことをご存知だろうか (図-1, 左)。この乳液は人間にとっては少量であるが、小さな虫にとっては大量である。図-1右は、ふ化したばかりの1~2mmしかないエリサンの小さな幼虫がクワの葉を食べているところである。エリサンがかじったクワの葉からは、小さなエリサンにとって大量の乳液が口の周りに滲出していることがわかる。普通の食べ方をしたのでは、昆虫にとってこの乳液を飲み込まずに葉を食べることは不可能であろう。そこで、クワの葉の毒性が乳液と関連があるかどうか調べるために、クワの葉を細切水洗処理し乳管を破壊したうえで乳液を洗い流して除去してからエリサンやヨトウガに食べさせたところ、クワの葉の毒性は消失した (図-2上, 中の写真のそれぞれ右側; KONNO et al., 2006)。このことは、クワの毒性・耐虫性がクワの乳液によって担われていることを示していた。一方、カイコは無傷の葉でも乳液を除去した葉でも順調に生育した (KONNO et al., 2006)。このことは、クワの乳液が担うクワの葉の耐虫性に対し、進化の歴史のなかでクワの葉を専門に食べ続けてきたカイコは、既にクワに適応しており中毒症状を示さないことを示唆しているが、この点は後で詳述する。

### III 糖類似アルカロイド：クワ乳液に高濃度で含まれる耐虫成分

乳液自体が確かに耐虫性・毒性を有するかどうかを検討するために、クワ乳液を人工飼料に添加して食べさせる実験をしたところ、クワ乳液は2%の添加で顕著な成長阻害効果を示した (図-3A; KONNO et al., 2006)。

そこで乳液に含まれる耐虫性成長阻害成分を分析したところ、活性成分として、糖分解酵素をはじめ種々の糖代謝酵素の阻害剤であり、血糖値上昇抑制効果も報告される3種の糖類似アルカロイド、すなわち1,4-dideoxy-1,4-imino-D-arabinitol (D-AB1), 1-deoxynojirimycin (DNJ) や1,4-dideoxy-1,4-imino-D-ribitol (図-4) などが高濃度で含まれていることが判明した (KONNO et al., 2006)。

糖類似アルカロイドの構造は一見して糖に類似しているが、環上の酸素原子が窒素原子に置き換わっているところが異なる。種々の糖代謝酵素は、糖と糖類似アルカ

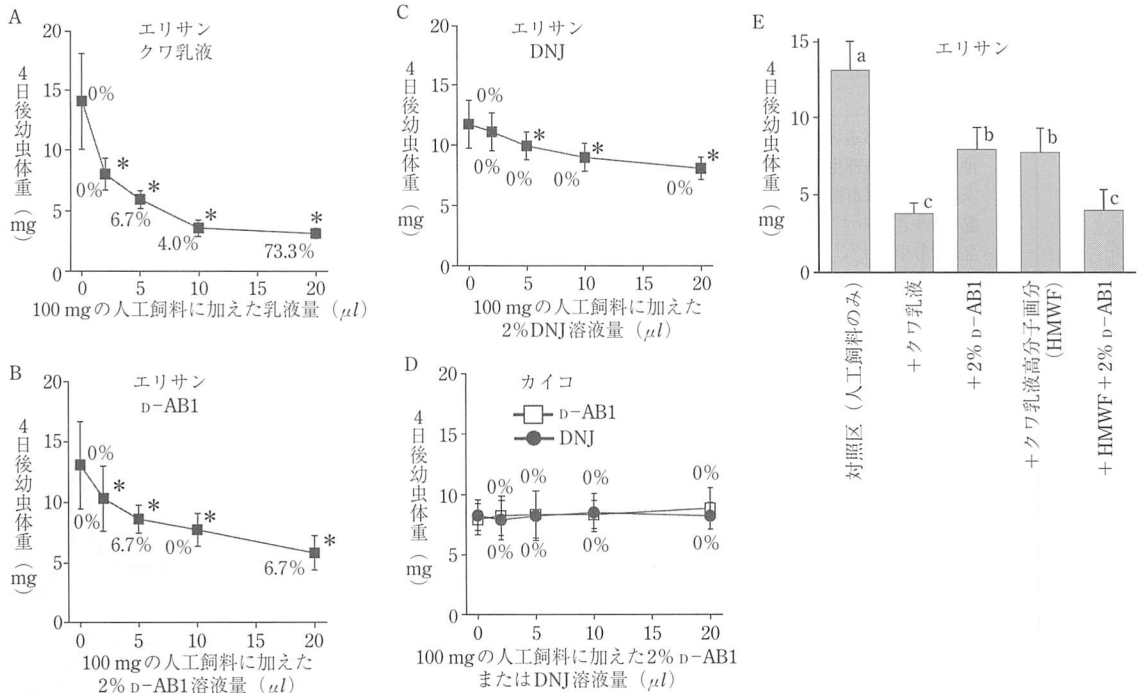


図-3 クワ乳液および糖類似アルカロイドのエリサンに対する成長阻害効果 (KONNO et al., 2006)

クワ乳液は、エリサンに対し顕著な成長阻害活性を示す (A)。糖類似アルカロイド自体も、エリサンに対し顕著な成長阻害活性を示す (B, C)。カイコは糖類似アルカロイドで全く成長を阻害されず (D)、糖類似アルカロイドに生理的に適応している。クワ乳液の耐虫性は、糖類似アルカロイドと未知の高分子因子によって担われている (E)。試験開始後4日目の幼虫体重 (mg) と、死亡率 (%) を測定した。

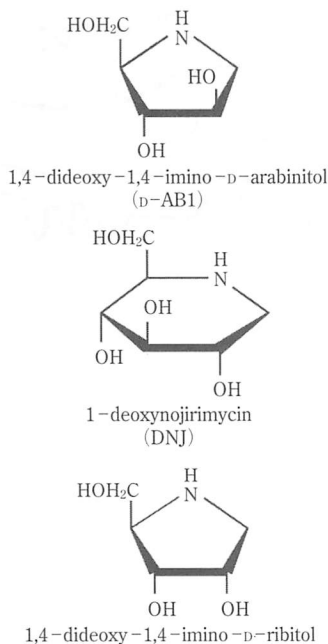


図-4 クワ乳液中に高濃度で存在する3種の糖類似アルカロイド (KONNO et al., 2006)

ロイドをその類似性ゆえ誤って認識するため、結果として糖代謝が阻害されるものと考えられている (ASANO et al., 2000)。これら糖類似アルカロイドは、これまでクワ組織や他の植物に少量存在することが報告されていたが、その濃度は乾物当たり 0.01 ~ 0.1% と少量であった (ASANO et al., 2001)。また、糖類似アルカロイドは血糖値上昇抑制効果が報告されているため糖尿病予防効果の研究が行われ、試薬として市販もされているが、100 mg で数万円と大変高価なものである。ところがクワ乳液中、特に沖縄県石垣島産や本土産の野生クワ (*Morus australis* や *M. bombycis* に分類される系統) では濃度が高く、糖類似アルカロイド3種の合計で乳液湿重の 1.5 ~ 2.5%、乾重の 8 ~ 18% が含まれていた (表-1; KONNO et al., 2006)。この濃度は、これまでの報告例の約 100 倍にも達する高濃度であった。

実際クワの乳液を舐めるとほのかな甘苦い味がするが、この味はショ糖などの普通の糖ではなく、糖類似アルカロイドの味であり、味覚でわかるほど高濃度の糖類似アルカロイドが乳液中存在していることになる。糖類似アルカロイドの乳液中濃度はクワの野生個体群や品種

表-1 クワ乳液中の糖類似アルカロイド濃度 (KONNO et al., 2006)

種, 個体群および品種	乳液中濃度 (%)		
	D-AB1	DNJ	1,4-dideoxy-1,4-imino-D-ribitol
<i>M. australis</i> (あるいは <i>M. bombycis</i> )			
沖縄県石垣島野生個体群	1.63 ± 0.21	0.36 ± 0.09	0.48 ± 0.03
茨城県つくば市野生個体群	1.28 ± 0.46	0.45 ± 0.23	0
品種 'ゆきしらず'	1.41 ± 0.26	0.35 ± 0.04	0
品種 '市平'	1.04 ± 0.02	0.47 ± 0.07	0
<i>M. alba</i>			
品種 'しんいちのせ'	0	0.32 ± 0.00	0

数値は平均 ± SD (野生個体群については  $n = 4 \sim 5$ , 品種については  $n = 2 \sim 3$ ).

の間で差があり, 沖縄県や本州の野生クワや本州の野生クワから育成された栽培品種 'ゆきしらず', '市平' などでは高い値を示し, D-AB1 が主成分であるのに対し, 中国の野生クワ (カラヤマグワ, *M. alba* に分類される系統) から育成された品種 'しんいちのせ' では濃度が低く DNJ のみが存在していた (表-1; KONNO et al., 2006).

D-AB1 や DNJ などの糖類似アルカロイドは, エリサン幼虫に対し毒性・成長阻害活性を示したが (図-3 B, C), カイコに対しては全く毒性・成長阻害活性を示さなかった (図-3 D; KONNO et al., 2006). 糖類似アルカロイドは, 乳液からイオン交換樹脂カラムを用いて簡単に精製可能であった (KONNO et al., 2006). クワ乳液中には, 糖類似アルカロイドのほかにも高分子の耐虫性因子 (毒) が存在していることも示唆された (図-3 E; KONNO et al., 2006). 高分子耐虫性因子については現在研究が進行中であるが, 新規の耐虫性タンパク質であることが判明しつつある.

#### IV 糖類似アルカロイドの耐虫活性 (成長阻害活性・毒性) 発現の分子メカニズム

糖類似アルカロイドは, なぜエリサンやヨトウムシなどの昆虫に対して毒性・成長阻害活性を示すのだろうか. 糖類似アルカロイドは糖代謝酵素の阻害剤であるため, 糖代謝酵素の阻害が毒性・成長阻害活性の原因であると考えられるが, 一口に糖代謝酵素といっても昆虫の体内には種々のものがある. 一体どんな糖代謝酵素が阻害を受けるのだろうか. これらのことを理解する前提として, 昆虫の糖代謝について簡単に説明しよう (図-5 上).

クワの葉に多く含まれており, 昆虫に栄養として利用される糖はショ糖である. 二糖であるショ糖は, 昆虫の中腸組織に存在するショ糖分解酵素 (スクラーゼ) によ

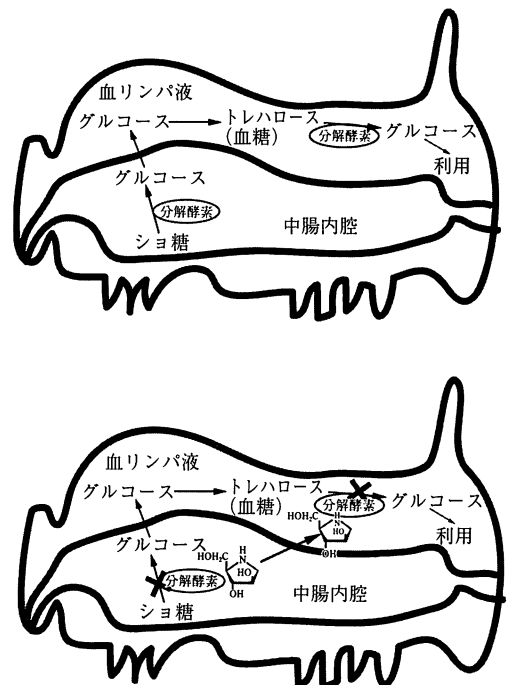


図-5 鱗翅目幼虫の糖代謝と, 糖類似アルカロイドによる糖代謝の阻害機構の模式図 (HIRAYAMA et al., 2007)

上: 鱗翅目幼虫の糖代謝. エリサン・カイコ等の鱗翅目幼虫では, 摂食した植物葉中の二糖であるショ糖はスクラーゼにより分解され, 単糖のグルコースとして血リンパに吸収された後, 二糖のトレハロースに再合成され血糖として血リンパ中に存在する. 体内の各組織では, トレハロース分解酵素でグルコースに分解され利用される. 下: 糖類似アルカロイドによる糖代謝の阻害. 糖類似アルカロイドは, 消化管でショ糖分解酵素を阻害する. このため, ショ糖の分解と吸収 (単糖の形で) が阻害される. さらに, 血リンパに吸収された糖類似アルカロイドは, トレハロース分解酵素を阻害し各組織におけるトレハロース (血糖) の利用を阻害する.

って単糖であるグルコースとフルクトースに分解され血液（血リンパ液）に吸収されたあと、グルコース2分子が結合した二糖であるトレハロースに再合成され血糖として機能する。その後、各組織でトレハロースをトレハロース分解酵素でグルコースに分解して利用する。糖類似アルカロイドが阻害している酵素として、まず考えられるのがスクラーゼである。糖の供給源としてのショ糖とクワ乳液由来の糖類似アルカロイド（主にD-AB1）を約0.1%加えた人工飼料をエリサン幼虫に与えたところ、試験期間中（4日間）の体重増加量が約半分が減るとともに、糖の吸収率が90%から70%にまで低下した（HIRAYAMA et al., 2007）。糖類似アルカロイドを加えた餌の糖供給源をグルコースに変えたところ、糖の吸収率は95%と高く完全に回復するとともに、減少した体重増加量も1/3程度回復した（HIRAYAMA et al., 2007）。

このことは、エリサンではショ糖の分解酵素が阻害されショ糖の吸収が阻害されることで、成長が阻害されていることを示唆している。実際、エリサンのショ糖分解酵素は極低濃度の糖類似アルカロイドで（D-AB1では $0.9\mu\text{M}$ すなわち0.13 ppm）酵素活性が50%阻害された（図-6；HIRAYAMA et al., 2007）。以上のことにより、糖類似アルカロイドの耐虫性効果はショ糖分解酵素の阻害が原因となっていることがわかった。

さらに、経口摂取した糖類似アルカロイドは消化管でショ糖分解酵素を阻害してショ糖の吸収を阻害するだけでなく、血リンパ中に吸収されたあと昆虫体内で他の

糖代謝酵素の阻害を行い、成長阻害活性・毒性の原因になっているらしいことも判明した（HIRAYAMA et al., 2007）。糖類似アルカロイドを経口摂取させたエリサンの血リンパには一定量の糖類似アルカロイドが存在し、血リンパ中のトレハロース濃度が顕著（通常値の1.5倍ないしそれ以上）に上昇した（HIRAYAMA et al., 2007）。この症状は、トレハロース特異的な阻害剤であり、殺虫効果も知られている Validoxyamine A を血リンパ中に注射したときの症状（KONO et al., 1993）に酷似していた。このことから、エリサンでは経口的に摂取した糖類似アルカロイドは血リンパに移行し、トレハラーゼを阻害してトレハロースの利用を阻害することで毒性・成長阻害活性を示し、結果として利用できなくなったトレハロースが異常に蓄積して血リンパ中のトレハロースの上昇を引き起こしているものと考えられた。実際、糖類似アルカロイドを経口的に摂取して成長阻害を起こしているエリサンの血中に存在する糖アルカロイド濃度は、*in vitro* でエリサンのトレハラーゼを十分に阻害した（HIRAYAMA et al., 2007）。

以上の結果をまとめたのが図-5下である。エリサンなど普段クワを食べていない昆虫がクワの葉を食べたとき同時に摂取した乳液中の糖類似アルカロイドは、まず消化管でショ糖分解酵素を阻害しショ糖の分解・吸収を阻害する。さらに血リンパ中に吸収された糖類似アルカロイドは、トレハロース分解酵素を阻害することで昆虫に成長阻害を引き起こしていると考えられた。糖類似ア

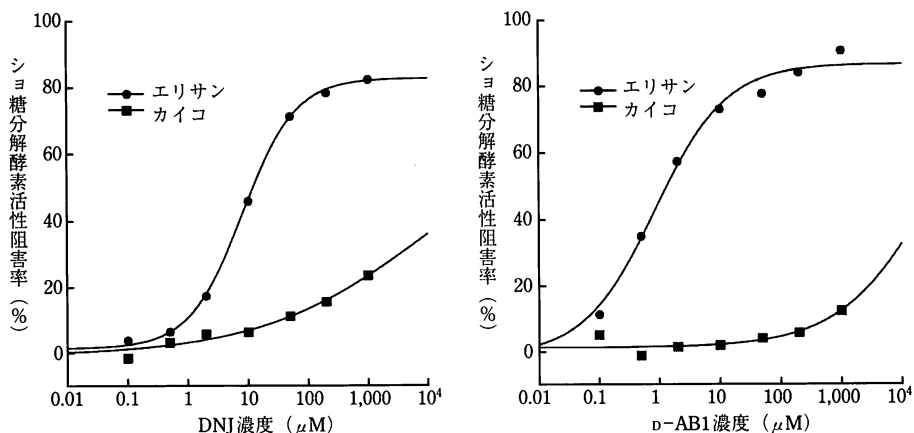


図-6 糖類似アルカロイドによるエリサンおよびカイコ中腸の可溶性ショ糖分解酵素の阻害（HIRAYAMA et al., 2007）

DNJ（左図）およびD-AB1（右図）による、エリサンおよびカイコ中腸の可溶性ショ糖分解酵素活性を測定した。エリサンの酵素は、低濃度の糖類似アルカロイドによって顕著に阻害される感受性酵素であるが、カイコの酵素は高濃度の糖類似アルカロイドによっても阻害を受けない非感受性酵素である。

ルカロイドは、シヨ糖分解酵素やトレハロース分解酵素以外の糖代謝酵素を阻害している可能性もあり、この点は今後の研究の課題である。

## V カイコのクワへの適応の分子メカニズム

前章までに述べてきたとおり、クワの葉は乳液に含まれる糖類似アルカロイドによる強力な耐虫防御をそなえていることが明らかになった。では、カイコはなぜこのように毒性の強いクワを食べることができるのだろうか。本章ではこの問題について考える。

実際、カイコはクワの乳液による防御から何らの影響も受けない。例えば、クワ乳液の有無はカイコの成長に関係がなく(図-2下)、糖類似アルカロイドもカイコの成長に全く影響がない(図-3D; KONNO et al., 2006)。さらにカイコにおいては、シヨ糖の吸収も糖類似アルカロイドによって全く阻害されず、エリサンで見られた糖類似アルカロイド摂取時における血リンパ中のトレハロースの濃度上昇もカイコでは全く見られなかった(HIRAYAMA et al., 2007)。そこで、カイコのスクラーゼに対する糖類似アルカロイドの阻害効果を調べた結果、カイコでは非常に高濃度の糖類似アルカロイドでしか阻害を受けなかった(図-6; HIRAYAMA et al., 2007)。

1 mMのD-AB1でもカイコのスクラーゼはほとんど阻害を受けず、活性が半分以上阻害されるにはおそらく10 mM (0.16%)以上の濃度が必要であろうと推察された。この濃度は、エリサンのシヨ糖分解酵素の値の実に1万倍の濃度である。つまり、カイコはエリサンに比べて1万倍の耐性をもつ酵素を発達させているのである。トレハロース分解酵素に関してもカイコの酵素は10~50倍の耐性を持ち、酵素の発現量もカイコで4~6倍高かった(HIRAYAMA et al., 2007)。カイコは糖類似アルカロイドに耐性をもつシヨ糖分解酵素とトレハロース分解酵素を発達・進化させることで、クワの糖類似アルカロイドに適応していたのだ。

## おわりに

これまで、「クワとカイコの関係」、すなわち「カイコがクワの葉を食べる」という現象に対して、クワがどのような摂食刺激物質を含むかという面から論じられてきた。これらの研究は「カイコはなぜクワを食べようとするのか?」という問題に関して答えたものといえる。これに対し本解説で紹介した我々の研究は、クワが昆虫の食害に対して乳液の耐虫成分で対抗しているのに対し、カイコがクワの防御に耐性酵素で適応することを示し、クワとカイコの分子レベルでの攻防関係が存在する

ことを明らかにし、「カイコはなぜクワを食べられるのか?」ということに答えを出したものといえる。数千年の養蚕の歴史において人類に大変なじみ深いカイコとクワの間には、これまで気付かれることがなかった乳液や乳液中の物質を仲立ちとした「食うか食われないか」の非常に複雑な攻防関係が存在していたのだ。

クワ乳液には、耐虫成分として糖類似アルカロイド以外にも低濃度で強い耐虫性をもつ新規の耐虫性タンパク質が含まれることが明らかになってきており、現在我々はこれらについても研究を進めている。

さらに、植物の乳液が昆虫に対する防御を担っている現象は、クワに限られたことではない。クワ以外にも、タンポポ、レタス、パラゴムノキ、インドゴムノキ、イチジク、サツマイモ、ヒルガオ、パパイヤ、ポインセチア、ケシ等多くの植物が、傷を付けると乳液を分泌する。乳液(白色・有色)・滲出液(透明)・樹脂を分泌する植物は意外に多く、これまでに3万種(全維管束植物の約8~10%)が報告されている(FARREL et al., 1991)。植物乳液には様々な有機物質(二次代謝物質)・タンパク質・酵素が含まれることが天然物化学・食品化学・アレルギー関係の研究から明らかにされている。例えばケシ乳液に含まれるモルヒネなどのアルカロイド、ガガイモ科植物に含まれる強心配糖体、パパイヤやイチジクの乳液に含まれるパバインなどのシステインプロテアーゼ(タンパク質分解酵素)などが、それぞれ多量に含まれていることが報告されている。これらの有機物質・タンパク質・酵素は乳液乾重の数~数十%と極めて多量に含まれているものがあるにも関わらず、植物にとっての本来的存在理由・機能は多くの場合不明であった。

植物乳液の植物にとっての本来の役割に関しては、「植物の乳液は植食昆虫に対する防御機構である」という「防衛仮説」(DUSSOURD and EISNER, 1987; FARREL et al., 1991; DUSSOURD, 1993)が以前から有力であったが、「防衛仮説」では、「毒なしでも、乳液の粘性性自体が防御活性をもつ」と説明されていたため、昆虫に対する毒性成分についてはあまり詳しく探究なされてこなかった。

我々は最近になり、植物乳液やそこに含まれる物質・酵素等が植物の耐虫性に決定的な役割を果たす例をパパイヤやイチジク類において発見した(KONNO et al., 2004; 今野, 2005)。パパイヤやイチジク類の乳液には、システインプロテアーゼに分類されるタンパク質分解酵素のパバインやフィシンが大量に含まれることは以前から知られており、食肉の軟化剤として工業的に利用されてきたが、パバインなどが植物にとってどのような本来の役割をもつかは不明であった。そこで、エリサンを用

いてパパイヤの乳液が鱗翅目幼虫（ガ幼虫）に対してもつ生理作用や防御活性を調べたところ、パパイヤやイチジクの葉はガの幼虫に対して顕著な致死性の毒性を示し、その原因が乳液中に含まれるシステインプロテアーゼにあることが判明した（KONNO et al., 2004）。

我々のパパイヤ・イチジク乳液の研究（KONNO et al., 2004）や本稿で紹介したクワの乳液の耐虫成分の研究（KONNO et al., 2006；HIRAYAMA et al., 2007）は、これまで植物の耐虫性を担うと考えられてこなかった植物乳液中の物質・酵素・タンパク質が、植物の耐虫性・防御活性に決定的に重要であることを明確な形で示していると同時に、植物の乳液が農薬・医薬として、あるいは作物の耐虫性育種に利用できる可能性をもった有用な生理活性物質の宝庫であることを示唆している。事実、ケシの乳液に含まれるモルヒネ（morphine）は現在まで最も有効な鎮痛剤として医学で用いられてきた実績がある。植物乳液は有用物質探索の標的を絞りやすく、比較的少数の物質が高濃度で含まれるため、物質の精製が容易であると考えられる。このため、今後世界に何万種類も存在している乳液を出す植物の乳液から、数多くの有用な生理活性物質が発見されるものと期待される。

最後に、本稿をきっかけに、植物—昆虫間相互作用や植物がもつ耐虫活性の理解が深まり興味をもっていただければ幸いである。

なお、植物の乳液が担う耐虫性にさらに興味がある方は、筆者らによる英文の原著論文（KONNO et al., 2004；2006；HIRAYAMA et al., 2007）や和文文献（今野, 2005, 2006）も参照していただきたい。

### 引用文献

- 1) ASANO, N. et al. (2000) : *Tetrahedron : Asymmetry* 11 : 1645 ~ 1680.
- 2) ———— et al. (2001) : *J. Agric. Food Chem.* 49 : 4208 ~ 4213.
- 3) DUSSOURD, D. E. and T. EISNER (1987) : *Science* 237 : 898 ~ 901.
- 4) ———— (1993) : *Caterpillars : Ecological and Evolutionary Constraints on Foraging*, Chapman & Hall, New York, p. 92 ~ 131.
- 5) FARREL, B. D. et al. (1991) : *Am. Nat.* 138 : 881 ~ 900.
- 6) HAMAMURA, Y. et al. (1962) : *Nature* 194 : 754 ~ 755.
- 7) HIRAYAMA, C. et al. (2007) : *Insect Biochem. Mol. Biol.* 37 : 1748 ~ 1758.
- 8) KONNO, K. et al. (2004) : *Plant J.* 37 : 370 ~ 378.
- 9) 今野浩太郎 (2005) : *化学と生物* 43 : 77 ~ 80.
- 10) KONNO, K. et al. (2006) : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103 : 1337 ~ 1341.
- 11) 今野浩太郎 (2006) : *プラントミメティクス—植物に学ぶ—*, エヌ・ティー・エス, 東京, p. 457 ~ 466.
- 12) KONO, Y. et al. (1993) : *Appl. Entomol. Zool.* 28 : 379 ~ 386.

## 登録が失効した農薬 (20.3.1 ~ 3.31)

掲載は、**種類名**、登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

### 「殺虫剤」

#### ●ダイアジノン粒剤

12034：日産ダイアジノン粒剤3（日産化学工業）08/03/15

#### ●BPMC・DEP乳剤

14520：ヤシマディップバッサ乳剤（協友アグリ）08/03/30

#### ●エトフェンプロックス・MPP粉剤

17513：ヤシマバイジットトレボン粉剤DL（協友アグリ）  
08/03/02

### 「殺虫殺菌剤」

#### ●エトフェンプロックス・MEP・カスガマイシン・フサライド水和剤

18289：ホクコーカスラプスミトレボン水和剤（北興化学工業）08/03/05

#### ●シフルトリン・ピテルタノールエアゾル

17598：バラギク119（レインボー薬品）08/3/12

### 「殺菌剤」

#### ●チウラム水和剤

3150：ボマゾール「エフ」(バイエルクロップサイエンス)

08/03/30

#### ●バリダマイシン・フサライド粉剤

14545：ホクコーラプサイドバリダグシン粉剤DL（北興化学工業）08/03/30

#### ●TPNくん煙剤

16679：ダコニール46くん煙顆粒（エス・ディー・エスバイオテック）08/03/28

#### ●フェリムゾン・フサライド水和剤

19167：サンケイブラシンフロアブル（サンケイ化学）  
08/03/12

### 「除草剤」

#### ●アジメスルフロン・ジメタメトリン・プレチラクロール・ベンスルフロンメチル粒剤

20162：ワイドリーA1キロ粒剤36（デュボン）08/03/03