

スズメバチ栄養液の運動への作用

阿部 岳

オオスズメバチは日本に生息するスズメバチの中でも最も体が大きく、どう猛な性質を持っている。私とその採集を通じて生態行動を観察した限りでは他に類を見ない圧倒的な強さを誇示して森に君臨し、食物連鎖の頂点に位置する。その行動半径は巣から 2km 以上の範囲におよび体重の $\frac{1}{4}$ 以上の肉団子をくわえて巣と餌場の間を 1 日に何回となく往復している。その働きぶりには目を見張るものがある。夕方、薄暗くなっても働き続け、真暗になると餌場に泊まる。詳細に調べると最盛期のコロニーでは多くの場合、働き蜂全体の 1 割弱が外泊しているようである。

スズメバチの毒の研究(阿部, 1985)を始めて数年が過ぎた 1984 年の秋に野田市近郊の江戸川辺りにスズメバチ採集へ出かけた。当時、このあたりで毎年数個のオオスズメバチの巣を採集してきた。この年もオオスズメバチの飛翔を確認し、ハチの集まる樹液を出すクヌギを見つけ出し、1 日を費やし、ようやくその巣を探し当て、夜に巣とハチを採集し研究所へ戻った。さて、クヌギの樹液には通常、複数の巣から働き蜂が飛来することが多く、他にも巣の見つかる可能性が高いことから、3 日後にこの地を再び訪ずれ、ハチの集まっていた餌場のクヌギへ行ってみた。樹液の周りにオオスズメバチが 2~3 匹止まっているのを見つけ、もう 1 つ別の巣がありそうだと内心ほっとした。ところが、ハチを良く見ると何となく元気がない。樹液の周りを這っている。変に思いクヌギの根元に目をやると 1 匹のオオスズメバチが苦しうに地面の上でもがいている。さらに死骸が 4~5 匹落ちていた。一般に、オオスズメバチは

異ったコロニーの間で餌場を確保するために激しい争いをする。双方の力が均衡している場合には片方が死ぬまで戦う。翅や肢を咬み切ったり、毒針で相手を刺し殺す。死骸を 1 つ 1 つ調べてみたが争った様子はない。そして、いくら待っても巣と餌場を通うハチが来ない。巣は先日取った 1 つだけだったのだ。そこで、巣のあった場所へ行き、ハチがいるかどうか確かめた。驚いたことにハチは一匹も営巣地の周辺にいない。外泊していたハチは巣には戻っていない。餌を取って巣に戻っても女王蜂も幼虫もないので餌場で自らの腹を満たすしかないのだろう。外泊して捕獲を免れたハチたちはどのようにしてその一生を終えるのだろうか。森の王者にふさわしく、何の不自由もなく一匹で生活して行くに違いない。だとすれば巣がなくなってしまったあと、外泊して取り残されたスズメバチは樹液の出る木の下に何故死んでいるのだろうか。

I スズメバチ社会の絆

スズメバチの食性の特徴を進化の歴史をもとに振り返ってみれば疑問が解けるかもしれない。原始的な狩蜂は単独生活を営み、食物を捕獲するため毒針を自在に操られるよう細くくびれた長い尾を持っている(図 1)。このような基本的な体型、つまり、くびれた尾は食性が変らないまま社会性を獲得したスズメバチにも受け継がれている(岩田, 1981)(図 2)。口から入った食べ物は糸のように細い尾と胸の間を通過し、消化器官へ運ばれる。従って、成虫は固型食を摂取しにくい。つまり、スズメバチの成虫は流動性の高い液体食を主食としなければなら

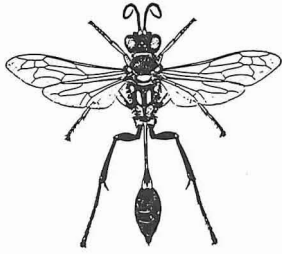


図1 単独で狩生活をするシガバチ（♀）の一種
(*Sceliphron fistularium*)

ない。流動食は栄養のバランスさえ取れていれば消化の手間も省け吸収も良いので効率の良い食べ物の形態である。食形態の進化と考えられる。成虫が狩で作る肉団子は幼虫のための食料で、その際、捕食した昆虫の体液や樹液が成虫の食料となる。しかし、それだけで命がけの狩と激しい飛行行動に十分な栄養が補給できるのか。加えて、クヌギの根元であえずズメバチを見た時、その疑問は大きくなった。

本来、単独生活をしていたハチがどのようにして社会性生活を営むようになったのかは巣を作り子育てをするようになったことが始まりと考えられる。そして、そのためにいかなる仕組みを獲得していったかが個々のハチの社会性システムの特徴を示している。草食性のハチは幼虫に花の蜜や花粉を与えるが、それを貯蔵して子育てする仕組みを作り出したのがミツバチである(坂上, 1970)。この仲間には巣が最大の食物のよりどころであるから、巣へ戻れば自分達の生命は保てる。そのために必要な社会の仕組み、例え

ばカスト制やそれに伴う機能分化が確立された(Frisch, 1967)。従って、ミツバチにとって不可欠な食料の蓄えとカスト制の実権を握った女王蜂がその社会の絆となっている。他方、肉食性のハチは食物を巣に貯蔵することが難しいため、子育てには特別な仕組みが必要であった。それは栄養交換(Trophallaxis)という成虫が幼虫へ肉団子を与え、幼虫から成虫が栄養液をもらう Give and Take の相互依存のシステムである。成虫のもらう栄養液がその生命維持に不可欠であると仮定すれば、この栄養交換こそが、肉食性のハチが社会を築く上での絆となっているに違いない(図2)。この絆が立ち切れた時、幼虫と成虫はそれぞれ互に生きて行くことができなくなる。これをよりどころにして、社会性狩バチは基本的な社会形態を構築し、社会性営巣活動を維持していると考えた。

社会性昆虫にみられる栄養交換の現象はすでに生態学的に観察されているが(Wilson, 1971)、その役割についてはほとんど研究されていない。このシステムが獲得されたあと、肉食性の社会性昆虫にとっては幼虫が食物庫の役割を果たすことになる。その中でもズメバチはこのような社会性システムを最も発達させた。この幼虫の出す栄養液は体内に発達した分泌腺で作られ、頭部を刺激すると口器より分泌される(図3)。初回の刺激に対する分泌量が一番多く、連続的には分泌されない。オオズメバチの幼虫で100 μ lほど分泌するが、キイロス

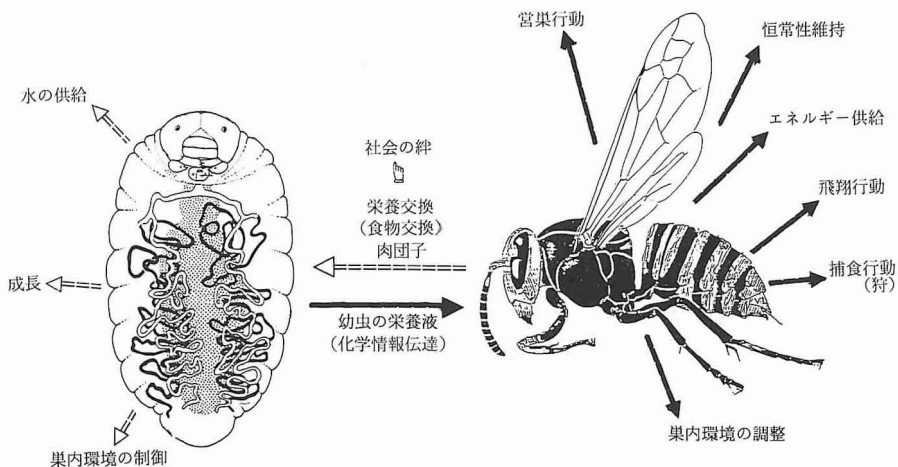


図2 スズメバチの栄養交換と社会的絆

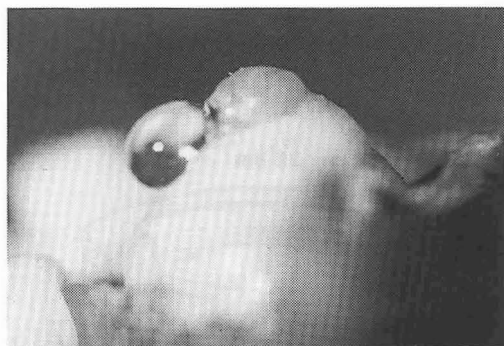


図3 キロスズメバチ (*Vespa simillima xanthoptera*) の分泌する栄養液

ズメバチ, コガタズメバチ, チャイロスズメバチ, ヒメズメバチそしてモンズメバチではその半量よりも少ない。肉団子を与えないと数時間後には刺激に対する分泌を行わなくなる。

ズメバチ栄養液が成虫の生命維持に不可欠なものであることは成虫の飼育実験で砂糖水を与えたものが2~3週間しか生きないのに比べ、栄養液を加えた砂糖水を与えると2~3か月生きることからも分かるが、寿命とは別に自然の中では成虫の行動を制御していると思われる(図2)。例えば、水分の供給, エネルギーの補給, 飛翔時の疲労予防, 狩に伴うストレスの緩和, 体調の維持, 巣内での争い防止などズメバチの生活を支えるあらゆることに関与し、

コロニーの盛衰をも左右しているに違いない(Abe et al., 1991)。そして、幼虫が栄養液の組成を変えることで成虫の様々な行動をコントロールする化学情報伝達の役割をも担っているだろう。

II スズメバチ栄養液の組成

日本に生息する5種類のズメバチ幼虫が分泌する栄養液を分析したところ、アミノ酸を主成分とする糖やタンパク質を含む水溶液であった(Abe et al., 1991)(表1)。特に、アミノ酸の組成は肉やタマゴそしてミルクのタンパク質とは全く異なり、どの種も共通してグリシン, プロリンそしてスレオニンなどを多く含み、同時に全ての必須アミノ酸も含む特異なパターンを示した(Abe et al., 1991)(図4)。またグルコースや昆虫のグリコーゲンに相当するトレハロースも含んでいた。このような組成の栄養液が成虫のどのような行動を制御しているのか、ズメバチを用いて明らかにすることは人工飼育を含めて行動生態学の基礎研究が欠けている現状では難しい。しかし、多岐に渡る作用がその組成の複雑さから予想される。例えば、攻撃的な性格の強いズメバチが巣の中に沢山集まる状況下で、GABAのような抑制性神経のトランスマッターやグリシンのようなア

表1 スズメバチ栄養液中のアミノ酸と糖の含量

	総炭水化物 (mg/ml)	D-グルコース(A) (mg/ml)	トレハロース(B) (mg/ml)	A+B(%) ^{b)}
オオズメバチ	19.3	1.00	1.18	11.3
モンズメバチ	41.2	4.00	1.18	12.6
ヒメズメバチ	35.5	3.75	N.D. ^{a)}	10.6
コガタズメバチ	69.8	5.63	2.35	11.5
キロスズメバチ	98.5	3.08	9.02	12.3

総アミノ酸 (mg/ml) ^{e)}	生理的アミノ酸 (mg/ml)	生理的アミノ酸 (%) ^{d)}	プロリン (mg/ml)	プロリン (%) ^{e)}	ω -アミノ酸 ^{d)} (μ mol/ml)	働き蜂の体重 (mg)
25.44	9.58	37.7	1.56	16.3	15.17	1365 \pm 285 (n=403)
12.58	11.73	93.2	0.68	5.8	12.98	931 \pm 365 (n=301)
6.44	6.99	108.5	0.33	4.7	10.18	1325 \pm 187 (n=84)
7.00	6.08	86.9	1.69	27.8	5.96	600 \pm 80 (n=109)
3.29	2.76	83.9	0.58	21.0	3.08	355 \pm 53 (n=296)

a) 検出不能 b) 総炭水化物中に占める割合 c) 栄養液の酸水解によって算出 d) 全アミノ酸中に占める生理的アミノ酸の割合 e) 生理的アミノ酸中に占める割合 f) タウリン, グリシン, β -アラニン, GABA の合計

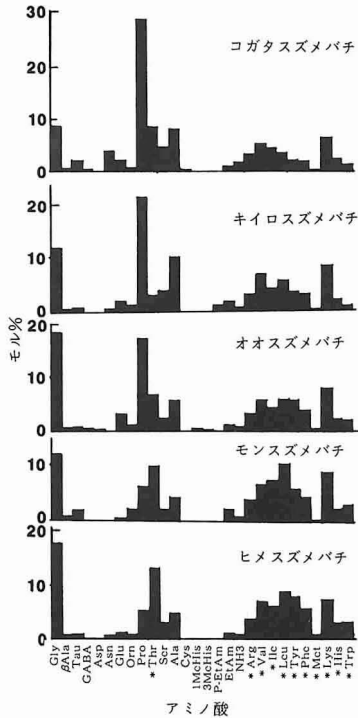


図4 日本産5種のズメバチ栄養液中に含まれるアミノ酸とその含量 (Mol%)
*印は必須アミノ酸

ゴニストの働きをする ω -アミノ酸を多量に摂取した場合、ハチの攻撃性は沈静するだろう(表1)。プロリンは昆虫一般にエネルギー源として使われているので、飛行時には欠かせない。ロイシン、イソロイシンそしてバリンなどは筋収縮のエネルギーとして使われている(Abe et al., 1991)。この特徴ある複雑なアミノ酸組成は行動範囲の広い狩行動をも支えているだろう。具体的には疲労時の脳の活動低下を予防し、狩をする時の身の安全を守り、虫を素早く捕まえる行動に役立っているのではないか。また、肉団子を2km以上離れた所から途中で休むことなく時速30kmあまりの速さで巣まで持ち帰る。それを1日中繰り返している。もし、何らかの理由で幼虫への肉団子の供給が悪くなれば幼虫の生長は止まり、コロニーの増大が抑制される。成虫が良く働くことが巣の繁栄に繋がる。このようなことから、栄養液が飛行、つまり筋肉運動に伴う疲労の改善に役立つのではないかと考えた。

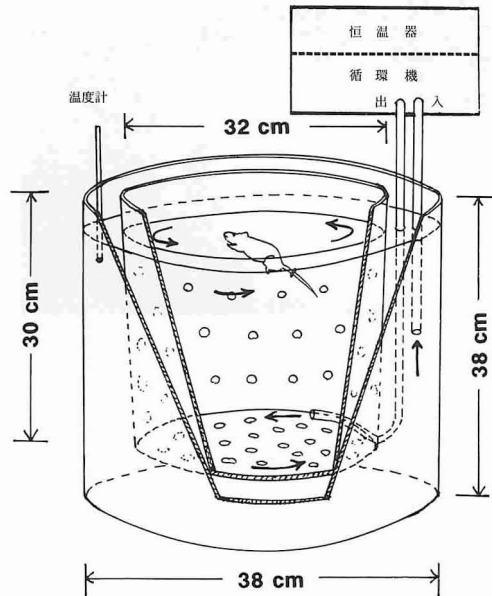


図5 マウス遊泳実験装置
水温 35°C, 流速 5~8m/分のリバプール。

III スズメバチ栄養液の作用

運動に伴う疲労を測定するため、マウスを用いる遊泳装置を新たに作り(図5)、遊泳能力と運動状態に対するズメバチ栄養液の作用を検討した。オオスズメバチと同じ組成の栄養液を選び、Vespa Amino Acid Mixture (VAAM)と名付け、この他にVAAMとは異なる組成の様々なアミノ酸栄養液、カゼインアミノ酸栄養液(CAAM)、グルコース溶液(Glu)そして、蒸留水(D.W.)をマウスに1mlずつ飲ませ、投与後30分間静置してから、35°Cの流水プール(流速5~8m/分)で遊泳を開始し、溺れるまでの遊泳時間を測定した。1.8%VAAM投与群が最も長く、0.9%CAAM, 10%Glu, D.W.の順に泳ぐ時間が短くなった(図6)。遊泳時間の延長効果は乳酸などの疲労物質の体内蓄積が少ないことを示唆している。尾に0.3gの重りを負荷したマウスを用いて30分間遊泳後の血中乳酸値と血糖値を測定した。1.8%VAAM投与群が1.8%CAAM, 10%Glu, D.W.さらには様々な組成のアミノ酸栄養液に比べ、極めて低い乳酸値を示した(図7)(Abe et al., 1995)。筋肉中の乳酸量もVAAM投与群で最も低い。同時

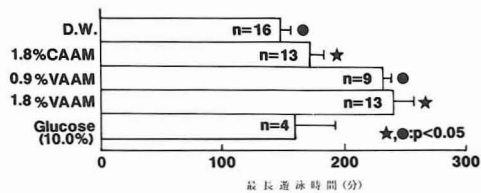


図6 VAAM および種々の栄養液を摂取したマウスの最長遊泳時間

に乳酸の前駆体であるピルビン酸の減少もみられた (Abe et al., 1989). これは VAAM の摂取によって運動時の疲労物質が体内に蓄積しにくいことを示している. 血糖値の減少はこれとは逆に VAAM 投与群で負荷運動にもかかわらず, 極めて少なかった (Abe et al., 1995) (図7). この相反する作用の同時進行は通常の持続運動に伴って起こる乳酸の蓄積と血糖値の低下を同時に抑制しており, 疲労の回避に好ましい状況である. オオズメバチ栄養液そのものを投与した場合, さらにこの抑制作用は強かった (図7).

我々のような高等動物は糖, タンパク質, 脂質などをエネルギー源とし, 炭酸ガスと水に変換することで生命活動を営んでいる. 糖 (グリコーゲンやグルコース) は運動に際して最も使いやすいエネルギーで, 糖の不足に伴いアミノ酸や脂質が順次使われることは良く知られている. 糖の燃える時に酸素が不足すると乳酸ができやすくなる. 従って, 運動時には血糖の減少と乳酸の増加が起こる. VAAM による乳酸減少と血糖維持作用は糖の利用を調節し, 同時にエネルギー源として脂肪の利用促進を示唆している. 種々の栄養液による同様の遊泳実験によって, 1.8%VAAM 投与群は 1.8%CAAM や 10%Glu と比べて負荷遊泳後に血中脂肪酸の遊離が増加した (田村ら, 1990; 飯田ら, 1991) (図8). 遊離された脂肪酸の組成は安静時の飽和-不飽和脂肪酸の割合とほぼ同じ比率で増加していた (白井ら, 1991). 脂肪酸が酸化してできるケトン体の量も 1.8%CAAM や 10%Glu 投与群に比べて 1.8%VAAM では増加がみられた (飯田ら, 1991). また, ウサギを用いた 0.9%VAAM の静脈内投与でも血中の遊離脂肪酸の顕著な増加が認められた (森下・

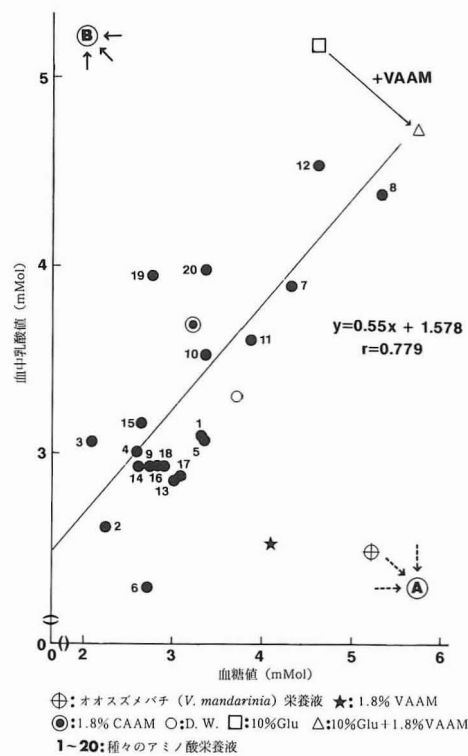


図7 種々のアミノ酸栄養液を摂取し, 30分間負荷遊泳したマウスの血中乳酸値と血糖値

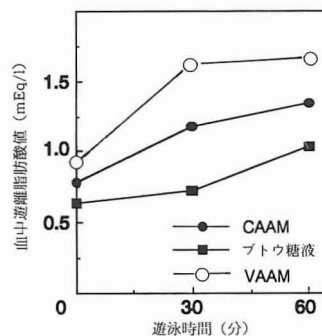


図8 種々の栄養液を摂取した負荷遊泳マウスの血中遊離脂肪酸の経時変化
VAAMとCAAMは1.8%, Gluは10%.

阿部, 1993).

このような脂肪の分解促進はノルアドレナリンやアドレナリンなどのホルモンの増加がもたらしていたことが同様の遊泳実験で明らかになった (表2) (稲森ら, 1992; 白井ら, 1993). つまり, ホルモン感受性リパーゼが活性化され (土田ら, 1991), 続いて脂肪の分離が促進し, 脂肪酸が増加する. これらの結果はエネルギー

表2 種々のアミノ酸栄養液を摂取し、30分間負荷遊泳したマウスの血中ノルアドレナリンとアドレナリン濃度

投与物質	アドレナリン		ノルアドレナリン	
	匹数	平均±標準誤差	匹数	平均±標準誤差
1.8%VAAM	15	5.06±0.93	12	6.19±1.11
1.8%CAAM	12	3.10±0.49	11	4.52±0.56
D.W.	12	4.80±0.46	11	6.17±0.41

源に脂肪を利用する代謝経路の引き役体をVAAMが果していることを示唆している。

運動という生体にとってのストレスへの順応をVAAMが促しているようにも見える。しかし、ストレス状態を加速しているかにみえる一方で、運動ストレスに伴う血液中のアミノ酸、特に筋肉で特異的にエネルギー源として用いられる分枝アミノ酸を中心に多くのアミノ酸の減少をVAAMは抑制する。VAAMを投与したラットは走行運動に伴う血中アミノ酸変動がCAAMやD.W.投与群に比べて顕著に少ない(図9)(土田・阿部, 1993)。ヒトでも激しい、あるいは長時間の運動のあとは分枝アミノ酸やセリン、スレオニン、グリシン、アラニン、チロシンなどが著しく減少するが(Bazzarre et al., 1992; Blomstrand and Newsholme, 1992)、これら変動の大きいアミノ酸はVAAMに多く含まれている。他方、アスパラギン酸、スレオニン、メチオニンそしてグルタミン酸は運動に伴う変化は少なく、VAAM中の含量も少ない。運動によるストレスから発生するアミノ酸のインバランスの改善をVAAMが促し、運動時に減少するアミノ酸をVAAMが補っている。

IV 推定されるVAAMの作用機序

VAAMに関わる様々な実験結果から、中間代謝産物の変動やホルモンの増加をもとにして、VAAMの最も単純な作用機序を考えてみた(図10)。VAAMは吸収される腸、あるいは代謝される肝臓や脳でその組成にもとづいたアミノ酸の種類と量のパターンが認識され、このようなシグナリングをもとにした高次ホルモン

の合成と分泌の促進を促すと推定した。その結果、カテコールアミンなどの低次のホルモンを誘導し、さらにホルモン感受性リパーゼを活性化し、活性化した酵素は脂肪の分解を促進し、グリセロールと脂肪酸を増加する。活性脂肪酸(アシルCoA)は解糖系の律速酵素であるホスホフルクトキナーゼや脂肪酸合成酵素を阻害し、脂肪酸の分解を促す。アシルCoAは β 酸化によってケトン体などを経て多量のアセチルCoAとなる。増加したアセチルCoAはピルビン酸デヒドロゲナーゼを阻害し、ピルビン酸からアセチルCoAへの合成反応を抑制する。また逆にピルビン酸カルボキシラーゼを活性化し、ピルビン酸からオキサロ酢酸への反応を促進する結果、グルコース合成反応(糖新生)が進み、同時に脂肪の分解によって増加したグリセロールもこの反応系に加わり、グルコース合成が促進される。アセチルCoAはTCAサイクルで代謝され、クエン酸を経て最終的に多量のATPを産生する。クエン酸もATPもホスホフルクトキナーゼの活性を阻害し、グルコースの分解を抑制する。他方、カテコールアミンはCAMP依存性プロテインキナーゼ活性化機構にも働き、グリコーゲンの分解促進と合成阻害を行い、グルコースの増加を促す。VAAMはこのような脂肪の分解に始まる一連の代謝反

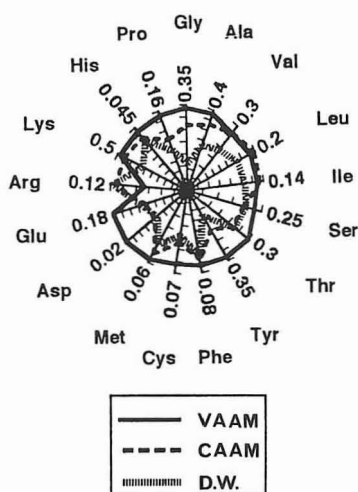


図9 種々のアミノ酸栄養液を摂取したラットの30分走行後の血中アミノ酸組成
3.6%栄養液を4ml投与した。

応を活性化し、多量のエネルギー(ATP)を生産すると同時にグルコースの減少を抑制するスムーズな代謝調節を行っている。この他にも血中アミノ酸の運動に伴うインバランスを補正する作用は運動によって起こる筋細胞の破壊防止を示唆している。

V ヒトに対する VAAM の作用

このような作用を示す VAAM がどのような味をしているのか興味を持つ人も多いと思う。アミノ酸の味は一般にうまみと表現されるが、どのアミノ酸も溶液にして味わうと決して良い味ではない。どのような割合で混ぜれば味が良くなるのか、人の手で採り当てるのは手間のかかる難しい仕事である。自然が作ったカクテルである VAAM は美味しいとは言えないが、飲めないほどひどい味ではない。実験に用いた CAAM や他の組成のアミノ酸栄養液と比べれば格段に飲みやすい。イヌは VAAM を好んで飲む。ヒトでも動物実験と同様の作用が期待できそうだが、直ちに実験はできないので、まず 1.8%VAAM を 200~300ml 試飲してもらうことにした。美味しいと答えた日本人はほとんどいなかったが、運動中に飲むと甘くて美味ししというヒトはいた。ある中国人は華南の高級料理に出てくるスープの味に似て美味しいと言った。さらに飲みやす

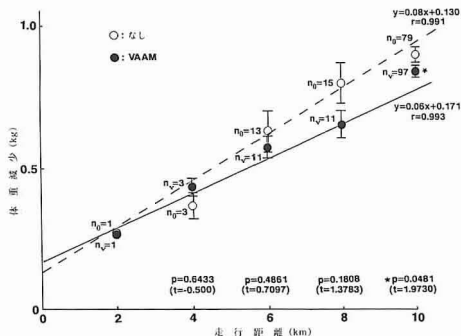


図 11 体重 55kg のランナーが走前 30 分前に 1.8% VAAM を 150ml 摂取し、2~10km 走った後の体重減少 n はくり返し回数

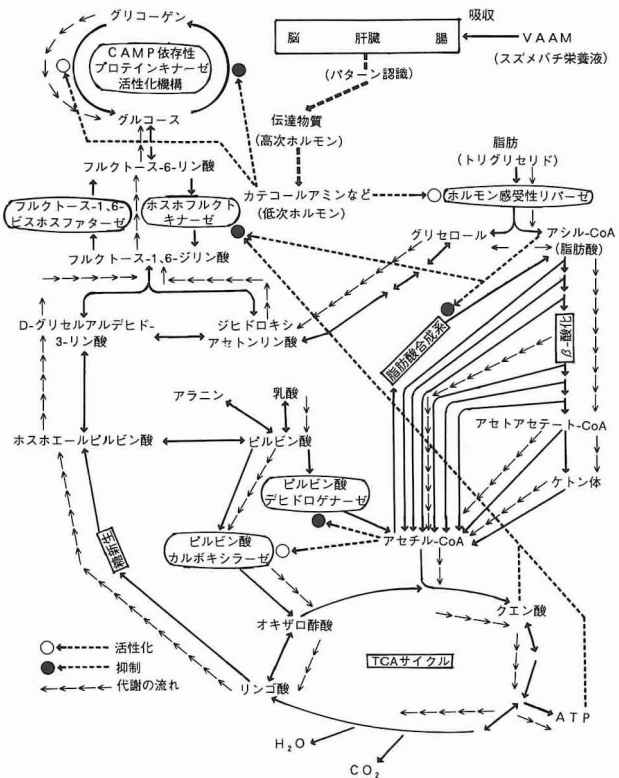


図 10 中間代謝産物およびホルモンの変動から示唆された運動時におけるスズメバチ栄養液 (VAAM) の作用機序

くするため、多少の甘味を付け、多数のヒトに試してもらった。はじめて飲んだヒトの半数以上が直後に身体のはてりや温感を訴えた。精力剤を飲んだ時のような身体の躍動感や興奮感はない。

一連の動物実験が示した VAAM の効果は運動時に顕著に現われる。VAAM の成分および作用の点から、ドーピングには抵触しない。そこで、ラグビー、アイススケート、アイスホッケー、マラソン、アメリカンフットボールなどのトップアスリートに試合および練習時に 1.8%VAAM を 300ml ほど飲んでいただいた。ほとんどの選手が何らかの効果を認めてくれた。「飲まないと試合に出ない」、「疲れを感じにくい」、「また飲みたい」、「最後までシャキッとしている」、「運動中は飲みやすい」、「飲んで練習すると試合時に良い」、「疲れがたまらない」など様々な感想が寄せられた。一方、10km 走および 20km ハーフマラソンでベテランラン

ナーによる摂取テストの結果, 体重の減少が多数の被験者で小さかった (図 11)。これは運動時の発汗量が少ないことを示唆しているのか「給水を取らなくてもすむ」, 「空腹感がない」という感想が多かった。同時に記録の上でも改善がみられた (本間ら, 1993)。

現在, VAAM に関して運動生理学のおよび生化学的な観点から, 動物実験よりも広範かつ多角的に研究を展開している。詳細な結果が得られれば VAAM のヒトに対する作用がさらに明確になると期待している。

(〒351-01 埼玉県和光市広沢 2-1
理化学研究所 昆虫生体制御研究室)

引用文献

- 阿部 岳. 1985. ミツバチ科学 6(1): 13-24.
 Abe, T. et al. 1989. The 14th International Congress of Nutrition. Seoul, Korea.
 Abe, T. et al. 1991. Comp. Biochem. Physiol. 99C: 79-84.
 Abe, T. et al. 1995. Jap. J. Physical Fitness & Sports Medicine 44(2): in press.
 Bazzarre T. L. et al. 1992. J. Am. College Nutrition 11: 501-511.
 Blomstrand E. and E. A. Newsholme. 1992. Acta Physiol. Scand. 146: 293-298.
 本間保夫ら. 1993. 体力科学 42: 523.
 岩田久二雄. 1971. 本能の進化. サイエンティスト社. 東京. pp. 503.
 飯田耕司ら. 1991. 生化学 63: 765.
 稲森美穂子ら. 1992. 生化学 64: 965.
 森下幸治, 阿部 岳. 1993. 体力科学 42: 231.
 坂上昭一. 1970. ミツバチのたどったみち. 思索社. 東京 pp. 327.
 白井暢子ら. 1991. 体力科学 41: 655.
 白井暢子ら. 1993. 生化学 65: 691.
 田村正啓ら. 1990. 生化学 62: 606.
 土田 博ら. 1991. 体力科学 41: 656.
 土田 博, 阿部 岳. 1993. 体力科学 42: 708.
 Frisch, K. von. 1967. The Dance Language and Orientation of Bees. Harvard Univ. Press. Cambridge. pp. 566.
 Wilson, E.O. 1971. The Insect Society. Harvard Univ. Press. Cambridge. pp. 548.

ABE, TAKASHI. Effect of *Vespa* Amino Acid Mixture from hornet larval saliva on endurance exercise. *Honeybee Science* (1995) 16(1)1-8. Lab. Insect Toxicology and Physiology, Institute of Physical and Chemical Research. 2-1, Hiroosawa, Wako-Shi, Saitama, 351-01 Japan.

It is well known that the society of honeybee is strongly tied by the queen as a controller of caste system and by the stored food such as honey and pollen. Compared to the honeybee which is a vegetarian insect, the hornet of a canivorous insect is not able to store the food in their nest, and also have not more solid caste system than honeybee society. One of the most important social ties is therefore a trophallaxis, that is a food exchange between adult making meat ball and larval saliva, in the hornet society. This nutritional exchange was a transformation of chemical informations from larvae to adults for control of the social activity. The larval saliva of 5 species inhabited in Japan was analyzed. They were contained amino acids and sugars. The amino acid compositions were commonly shown a peculiar component that was rich in proline, glycine and threonine. The mixture of amino acids (VAAM) in the saliva of *Vespa mandarinia* showed an activity of time elongation in swimming exercises of mice. VAAM also showed suppressions of the increase of blood lactate and the decrease of blood glucose during loaded swimming exercises of mice. Those effects of VAAM were produced by the activation of lipolysis. The lipolysis was induced by catecholamines. The hormonal induction would occur through a recognition of the amino acid pattern of VAAM in the intestine or the brain. When human took the VAAM before exercise, the performance was improved.