

## コガタアカイエカの生態と日本脳炎の流行

誌名	日本応用動物昆虫学会誌
ISSN	00214914
巻/号	143
掲載ページ	p. 163-166
発行年月	1970年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波事務所  
Tsukuba Office, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat



## コガタアカイエカの生態と 日本脳炎の流行

和田 義人

(長崎大学医学部医動物学教室)

日本脳炎は、インドから東南アジアをへて、日本、沿海州にまで分布している疾病であり、その主伝搬者は、少なくとも日本では、コガタアカイエカであることに間違いない。そこで、先ずコガタアカイエカの生態について触れ、次いで日本脳炎の流行に及びたい。

### コガタアカイエカの生態

コガタアカイエカはわが国の農村で最も普通の蚊で、幼虫の主な発生場所は水田である。水のはらわれている水田の割合は季節および気候によって大きく変り、これが本蚊の発生消長を複雑にしている。飛翔能力はかなり大きく、長崎地方での分散実験によれば、7日間の最大飛翔距離は8.4 km、平均1.0 kmであった。このことから少なくとも1 kmは本蚊の通常の行動範囲内に入るものと推測される。このように、飛翔能力が大きいことが、日本脳炎の患者の発生に家族集積性が見られない原因の一つであろう。

蚊は一般に吸血しないか卵は発育しない。コガタアカイエカの吸血嗜好性ははっきりしていて、豚や牛のような大形哺乳動物から好んで吸血し、ニワトリからもかなりよく吸血するが、人はあまり好まない。これら哺乳動物から多数のコガタアカイエカが吸血し、その数は1晩1頭当たり夏には数百ないし数万に達するのが普通である。

27°Cの好適実験条件下では、コガタアカイエカの卵・幼虫・蛹期間は約10日、羽化後吸血するまでに約3日、吸血後産卵するまでに約4日を要し、したがって次の世代が発生するまでに約17日かかる。自然界では吸血の機会が必要な時に必ずしも与えられるとは限らないので、17日よりやや長い期間を要すると思われる。気温が低下するにつれてこれらの期間は長くなり、約16°C以下では幼虫は発育しなくなる。幼虫の発育期間は、温度が同じであっても、水質によって大きく変わるので、自然界での幼虫期間の変異は大きく、これが世代の重なり合いが大きい一つの原因となっている。

コガタアカイエカを、生物学的日長時間11時間のような短日条件下で1令幼虫から飼育すると、21~27°Cの温度範囲では、吸血しないか、たとえ吸血してもきわめて低率であって、吸血雌は少数の卵しか成熟させずに残りの濾胞が退化するものや、卵が全く成熟せずにいわゆる栄養生殖分離を起こすものが少なくない。同じ温度範囲で、14時間のような長日条件下で飼育すると、吸血率は高く、正常に卵形成が行なわれる。屋外の自然環境下で飼うと、5~8月の雌は、実験室の長日下の雌と同じ状

態を示す。9月以降には、日長が13.5時間である中旬ごろに、気温はまだ20°C余りと高いのに、吸血率が低下し始め、吸血した雌の中で異常な卵形成を示すものの率もやや高くなる。秋越冬に入る雌は、9月中旬前後に羽化して吸血しない、未経産の休眠雌がその大部分を占めるが、この他に同じころ吸血の後栄養生殖分離を起こした未経産雌およびそれ以前から生きていてそのころ吸血し栄養生殖分離を起こした経産雌なども含まれていると考えられる。

越冬雌成虫が休眠からさめて吸血に来るのは3、4月で、新生成虫は普通5月上・中旬から現われ始める。日本の北部ではこれらの時期は多少おそくなる。本蚊の個体数は一般に7、8月に多くなるが、その季節的消長には、幼虫が発生する水域の面積の消長による影響が大きく、稲作慣行と深い関係がある。

コガタアカイエカの野外における生存率は次のようにして推定できる(DAVIDSON, 1955)。いま、蚊の個体群は安定であり、死亡は蚊の年令と無関係に起こると仮定する。また、羽化後  $a$  日目に吸血、吸血から次の吸血までの期間が  $b$  日であるとすれば、産卵経験のない蚊の率、すなわち未経産率は次式で示される。

$$\begin{aligned} \text{未経産率} &= p^a / (p^a + p^{a+b} + p^{a+2b} + \dots) \\ &= 1 - p^b \end{aligned}$$

$p$  は日生存率である。この式から

$$\begin{aligned} p^b &= 1 - \text{未経産率} \\ &= \text{経産率} \end{aligned}$$

したがって、経産率と  $b$  の値がわかれば、日生存率  $p$  の推定が可能となる。この方法は、蚊が採集されるのは普通は吸血の時点であり、吸血後卵が発育し産卵して再び吸血に来るまでの間は採集対象から除かれるので、採集蚊の年令分布が不連続であることを基にしている。上記の、死亡は蚊の年令と無関係に起こるという仮定は、厳密には正しくないが、事実とかなりよく合致するとされている。コガタアカイエカの場合には、夏の経産率は約22%、吸血から次の吸血までの期間  $b$  は約5日であるので、上式を用いて日生存率  $p$  を計算し、0.74を得た。コガタアカイエカが日本脳炎ウイルスに感染してから伝搬可能となるまでに約10日を要するので、この間の生存率は約0.05となる。

### 日本脳炎ウイルス感染のサイクル

自然界における日本脳炎ウイルスの増幅動物および伝搬者として最も重要なものは、豚およびコガタアカイエカである。日本脳炎ウイルス感染のサイクルに関与し得るものとしては、感受性、個体数などから考えてこれら二つが最も重要であり、他のものは一般にきわめて小さな役割を果たすにすぎない。人がたとえ感染を受けても、ウイルスは血液中にほとんど現われてこないで、その患者から吸血をしたコガタアカイエカが感染することはまずない。自然界での感染のサイクル中には人は含まれて居らず、たまたま感染蚊から人が吸血されることによって発病する者が現われるわけである。それゆえ日本脳炎の流行の様相

を知るには、豚とコガタアカイエカを追求するのが最もよい。

コガタアカイエカによって、吸血時に血液と共に摂取された日本脳炎ウイルスは、蚊体内で増殖し、唾液腺にウイルスが現われて、蚊が伝搬可能となるのに、夏で約10日を要する。この期間は、初めの摂取ウイルス量が小さい場合には、10日よりやや長くなる。伝搬能力を持った蚊から豚が吸血されると、約3日後にウイルス血症を示して大量のウイルスが血液中に見られるようになる。コガタアカイエカは、このウイルス血症を起こしている豚から吸血することにより、感染を受ける。このようにして、感染のサイクルがくり返されるわけである。

### 理論的流行過程

伝染病流行の理論モデルには種々のものがあるが、ある一定期間の潜伏期があり、感染は時間のある一点で起こる、不連続な流行過程に適用されるものに、chain binomial model があり、Reed-Frostの式としても知られている(BARTLETT, 1960)。いま、時間  $t$  における感受性者数を  $S(t)$  とすれば、時間  $t+1$  における患者数  $C(t+1)$  は次式で示される。

$$C(t+1) = S(t)(1 - q^{C(t)})$$

ここで、 $q$  は1人の感受性者が単位時間に1人の患者と有効接触を免れる確率である。このモデルを用いて、豚における日本脳炎の流行過程を考えてみる。この場合には、上記の潜伏期間は、コガタアカイエカが感染してから伝搬可能となり、吸血によって豚に感染を起こしてその血中にウイルスが見られるようになるまでの期間であって、夏では約半月である。また、有効接触を免れる確率  $q$  は、蚊の個体数と伝搬可能となるまでの間の生存率によって決定される。

いま、コガタアカイエカの行動範囲内に1,000頭の豚がいて、どの豚も蚊から吸血される確率は同じであるとする。また、感染豚のウイルス血症を示す期間を1日、コガタアカイエカがその時に吸血すればすべて感染をし、伝搬可能となるまでの10日間の生存率を5%と考え、吸血蚊の個体数は一つの流行過程では不変であると仮定する。このような場合に、1頭の感染豚から始まる日本脳炎の流行過程を上式を用いて逐次計算した結果次の諸点を示された。単位時間ごとにあらたに感染する豚の数  $C(t)$  は、蚊の数が多い場合には、早い時期に現われ、感受性豚数  $S(t)$  が0となって流行は終息するが、蚊の数が少ないと、流行はおそく起こって、感受性豚がまだ残っているのに感染が起こらなくなる。豚が感染を受けると、抗体を保有するようになるので、累積感染豚が抗体保有豚であり、S字状の曲線を描いて上昇する。もちろん、蚊の数が多い方がこの上昇曲線は早い時期に現われる。

しかし、自然界で起こる現象と対比させて考えるためには、上記の式にかなりの修正が必要である。まず、豚は普通8か月くらいで屠殺されるので、ここに1,000頭の豚の集団があるとすると、1か月にその1/8、すなわち125頭、半月では62.5頭の感受性豚が集団に加わり、同数の非感受性または抗体保有豚が集

団から出て行くことになる。また、産まれてから約2か月間は母乳抗体を持っていて、したがって、1,000頭の豚の集団ではその2/8、すなわち250頭は母乳抗体を持っていることになり、残りの750頭の豚のみが感染のサイクルに関係することになる。このような条件を前述の式に導入しても、やはり蚊の数が多い場合には流行が早くてはげしい。しかし、一定数の感受性豚が集団に追加され続けるので、少数の感染豚がいつまでも生産され続ける。また、累積感染豚数で示される抗体保有豚数はS字状に上昇し、蚊の数が多い場合には100%にきわめて近くなる。ここでは、蚊の数は一つの流行過程では一定と考えてきたが、実際には、秋になると蚊の数が激減するため、豚の感染がいつまでも続くことはなく、流行は終息する。日本脳炎の流行の大きさは生産される感染蚊の数に比例すると考えられ、感染蚊の数は、当然のことながら吸血蚊の数が多い程多くなる。

この流行の理論モデルによって指摘されたことは、かなりよく自然界で起こる事象と一致しているように思われるので、日本脳炎の流行予測に應用できるよう発展されることが期待される。

### コガタアカイエカの発生と日本脳炎の流行

長崎地方における1965~1969年のコガタアカイエカの発生と、日本脳炎の蚊および豚における感染との関係を検討して次の結果を得た。コガタアカイエカの越冬雌成虫の出現開始時期は3月2日ないし3月31日と、年により約1か月のちがいが見られ、新生成虫の出現開始時期は4月27日ないし5月14日と約半月のちがいが見られ、両者の間には正の相関がある。これらの時期はその年の気温によって決定される。屠場豚のHI抗体保有率が、日本脳炎の感染によって50%をこえた時期、すなわち日本脳炎汚染決定時期は6月30日ないし8月13日であり、また蚊から初めて日本脳炎ウイルスが分離された時期は5月30日ないし8月1日で、両者の間には正の相関があるが、これらと上述のコガタアカイエカの出現開始時期との間には全く関係が認められない。日本脳炎の流行時期は、蚊がいつから出現し始めたかよりも、その後の蚊の数の多少が関係していると考えられるので、上の結果はむしろ当然であろう。事実蚊の密度の高まりの早い年には、一般に豚または蚊における日本脳炎流行の時期も早い場合が多く、この関係は宮城県においても認められている(石田ら, 1969)、このことは前述の理論モデルからも予想されたことであるが、蚊の発生消長は、同じ県の中であっても地方によって大きく異なることがあり、また日本脳炎ウイルスがどこでどのようにして越冬するかという問題とも関連してくるので、今後さらに詳しい調査が必要である。

ここで、簡単に日本脳炎患者の発生について触れておきたい。理論的には、コガタアカイエカの数が多い程生産される感染蚊の総数は多く、したがって流行は大きいと考えられる。もし、人の抗体保有状況や蚊から吸血される頻度が同じであれば、発生する患者の数は、蚊の数と正の相関があると考えられ

る。そこで、1年間の累積コガタアカイエカ数と発生患者数との間の関係を吟味したところ、期待されたように、蚊の数が多いう年には発生患者数も多いという結果が得られた。しかし、たとえ累積蚊数が同じであっても、発生消長の形は年により異なるのが普通であり、また人の抗体保有状況は毎年変化していくので、厳密にはさらに詳しい検討が必要であるが、大まかには上のように言ってよいと思われる。患者の発生時期は、豚における流行時期より約1か月おけている。これは感染豚からコガタアカイエカが吸血しても、すぐには伝播能力をもつようになるわけではなく、蚊体内で増殖して伝播可能となるまでの期間、および人が感染をしてから発病に至るまでの期間によるものと考えられる。

次に、日本各地における日本脳炎の流行時期とコガタアカイエカの発生消長との関係を、1965～1969年の各種統計資料を用いて吟味した。各都府県における日本脳炎の流行時期は、そこでの屠場豚のHI抗体保有率が50%をこえた時期、すなわち日本脳炎汚染決定時期によって代表させ得ると考えた。また、コガタアカイエカの発生は、本蚊の発育と関係のある温度、幼虫の主な発生場所である水田の面積、および水田に水がはられて幼虫の発生が可能な水域の面積が急に大きくなる田植の時期などによって影響されると考えた。そこで、日本脳炎流行の時期と、気温、水田面積、および田植の時期との関係を吟味した結果、次の点が明らかとなった。日本脳炎の流行が早いのは、一般的には、気温が早く高くなる南部であって、気温の高まりがおそい北の方にいくにつれて、それがおそくなる傾向が認められる。これは、気温の高まりの早い地方では、一般に、コガタアカイエカが早く多くなり、したがって、日本脳炎の流行も早くなるためと考えられる。しかし、こまかく見ると、上の傾向からはずれて、流行がより早い地方や、よりおそい地方が認められる。この流行がより早い地方では田植の時期が早く、逆に流行がよりおそい地方では田植の時期がおそい場合が多い。これは、本蚊の幼虫は、主として水田に発生し、田植のころから水田に水がはられて、幼虫の発生水域面積が急に大きくなることと関係があるように思われる。換言すれば、日本脳炎の流行は、コガタアカイエカの発生が盛んになるのが早い地方では一般に早く、コガタアカイエカの発生が盛んになる時期は気温と密接な関係があり、田植の時期によってもある程度影響を受けると考えられる。水田面積の多少は、日本脳炎の流行時期にはほとんど影響しないようである。

一般的には、上記のような関係があると考えてよいが、日本脳炎の流行時期と気温との関係について、別の見方をすると、九州地方は他の地方と多少様子がちがうように見える。コガタアカイエカの幼虫は約16°C以上でないと発育しないので、この16°C以上の気温を田植時期から日本脳炎流行時期まで累積してみると、その値は九州の各県では他の地方におけるよりもかなり小さい。この原因についてははっきりしないが、流行開始時の日本脳炎ウイルス量のちがいに由来のものかもしれない。

本病ウイルスがどこでどのようにして越冬するかについては幾多の仮説がたてられているが、その何れもがまだ推測の域を出ていない。この問題が解決しない限り、日本脳炎の流行過程を予測することは困難であるが、ウイルスが各々の土地に土着して越冬するにしろ、外部から毎年導入されるにしろ、当初はきわめて少量のウイルスしか存在しないと考えられ、はげしい流行に至る過程には、コガタアカイエカの発生量が関係していることは確かである。

## 質 疑

弥富喜三：(1)コガタアカイエカの幼虫の発生する水田は以前は比較的安定な環境であったが、1953年を境としてパラチオンが広く使用されるようになり、蚊の発生にはマイナスの要因が加わった。一方農薬の導入により田植の時期の幅が広くなり、この点では蚊の発生にはプラスの要因を加えた。かような意味で、日本脳炎の発生の変動を1953年を中心として検討する必要性を感じる。(2)ウイルスの増幅動物として、またコガタアカイエカの吸血動物として豚は重要な意義を有するが、豚の飼育頭数は豚肉の価格の上下に伴って甚だしく年々変動するものである。豚の飼育頭数の変動と日本脳炎の発生の変動をエビデミオロジカルに検討する必要がある。(3)佐賀市周辺のように多数のクリークや濠などの恒久的な蚊の発生水域を有する地帯と、水田のような一時的発生水域のみを有する地域とはエコシステムの構成要素がかなり異なっていると思われる。佐賀県が日本脳炎の発生に異なった様相を呈しているのはそのためではないだろうか。

和田義人：(1)必要性には同感であるが、コガタアカイエカの発生数の年次変化については当時の資料がない。(2)豚の飼育頭数と日本脳炎患者の発生数との間には、巨視的には明らかに正の相関が見られる。しかし、患者の発生数に影響を与える要因は他にも多くあるので、豚の飼育頭数の小さな年次変動によって発生患者数が大きく変るとは考えられない。(3)佐賀市周辺には多数のクリークが存在するが、それらはコガタアカイエカ幼虫の発生場所としては不適な場合が多く、主な発生水域は水田である。したがって、この点からは、他の地方との間に大きな違いは考えられない。

岸本良一：(1)日本脳炎の流行において、蚊の人对する嗜好性に変化は見られないか。(2)蚊が吸血動物を撰択する能力は高いと思うので、蚊の発生数の多少と豚の抗体保有率の上昇傾向とはあまり大きな関係はないのではなからうか。

和田義人：(1)蚊の人对する嗜好性に変化が起こったかどうかについてはわからない。日本脳炎患者の発生を考える場合には、蚊から吸血されないために、蚊帳を吊ったり、家庭用殺虫剤を使用したりする、生活様式の変化の方がより重要のように思われる。(2)蚊が動物を撰択する能力については種々の問題があるが、この能力がかりに高いとしても、一般には蚊が多ければ豚の抗体保有率の上昇は早い時期に、しかも急速度で起

ころものと考えられる。

石倉秀次：(1) 田植時期の早晩と日本脳炎の流行期の関係で、九州地方では田植時期から日本脳炎流行期までの精算温度が他地方に比較して小さいということだが、九州地方は早期栽培があるので、田植時期のデータはどのようなものをとられたか。また早期栽培の田植時期から考えたらどうなるか。(2) (弥富氏の質問に関連して) 佐賀城址の壕の中ではマコモを刈り倒した後にコガタアカイエカが発生したということは、水中の養分量が一時的に増加したということによるかと思う。ここ十数年来日本の水田の施肥量は飛躍的に増大したが、これに関連してコガタアカイエカの密度が高まったということはないか。また、それを示唆するような証拠はないか。(3) (岸本氏の質問に関連して) コガタアカイエカの脳炎ウイルス保毒率はどれほどか。もし低いとすれば、豚の感染率の動向に吸血蚊数の影響がでると思う。

和田義人：(1) 各県の平均田植時期の統計資料を用いた。同じ県であっても地方によってかなり田植時期が違っているので、今後もう少し詳しい検討を加えてみたい。しかし、苗代時期からの累積気温をとっても、やはり九州地方での値は小さいので、早期栽培の田植時期を基準としても同様の結果が得られるような気がする。(2) 水田の施肥量の増大に伴ってコガタアカイエカの密度が高まったかどうかについてはわからない。しかし、本蚊の幼虫にとっては、水中の養分量がかなり高い方がより好適のようである。田植後しばらくの間、幼虫密度が高い事実は、施肥と関係があるらしく、また、牛の水飲み場のような、有機質に富んだ水域で幼虫が非常に高密度に発生していることがよくある。(3) コガタアカイエカの感染率は最も高い時

期で2～3%である。

大竹昭郎：宮城県データのデータを見ると、豚のHI抗体保有率が急激に上る前に、小さな山が一つ二つあることがある。vectorの蚊は季節を追ってだんだん増えてゆくのに、HI抗体保有率が一時的に下るのは解せないが。

和田義人：豚のHI抗体保有率は、各県で屠殺される豚の血清を1週間ごとに調べることによっている。1回に調べる豚の頭数はそれ程多くはなく、また調査する豚は毎週同じ地方から出荷された豚とは限らないので、抽出誤差と考えられる。

中筋房夫：日本脳炎ウイルスの越冬についてはいろいろの議論があるようだが、最近ウシカ類の異常飛来調査を行なっている漁船でコガタアカイエカが多数採集されたと聞いている。日本脳炎ウイルスがこれら飛来蚊に由来すると考えられるか。またもしその可能性が考えられるとすると、日本各地で日本脳炎流行時期が大巾にずれるというのは、ウシカの発生などと考え併せて矛盾すると思われるが、この点どのように考えられるか。

和田義人：コガタアカイエカには渡洋飛来個体があるかもしれないが、もしあるとしても、その数は日本に土着のものと比較してきわめて少ないものと考えられる。したがって、日本脳炎ウイルスの飛来蚊による導入は、全く否定はできないが、その可能性は大きなものとは考えられない。ただ、ウイルスが飛来蚊によって導入されるとしても、その量はきわめて小さいと考えられ、導入後それぞれの土地でのコガタアカイエカの発生消長によって日本脳炎の流行時期が決まると考えれば、日本各地での流行時期のずれを説明することはできる。