

図1 炭疽病接種後新葉がぬれている継続時間と発病との関係(野中1969)

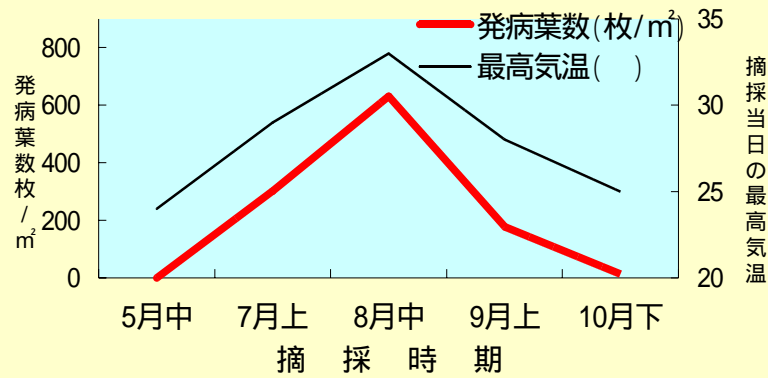


図2 摘採時期・輪斑病発病葉数および摘採当日の最高気温(堀川 1980)

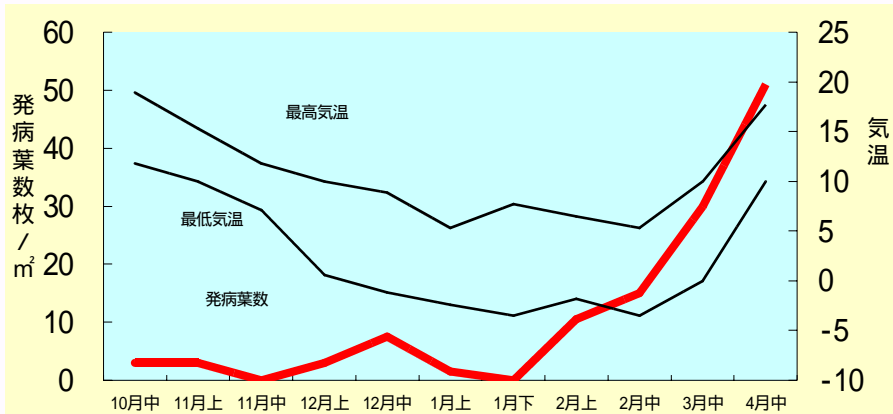


図3 赤焼病の感染時期と気温との関係(堀川 1985)

- 5 - 1 害虫の発生世代数の増加

【要約】

昆虫の発育速度は、ある温度範囲内では温度上昇に従って直線的に増大する。このため、温暖化のもとでは年間の発生世代数が増加し、作物の被害量も増大すると予想される。一方、クモ類以外の天敵類は害虫よりも一般に温度上昇に伴う増加世代数が多くなるため、温暖化のもとでは天敵類がより有効に働く場合もあり得る。

【解説】

昆虫の発育速度は、ある温度範囲内では図 1 に示されるように直線的に増加することが多く、この関係は「有効積算温度法則」と呼ばれている。発育が見かけ上ゼロとなる気温は「発育ゼロ点」と呼ばれ T_0 で表され、また、直線の傾きの逆数は「有効積算温度定数」と呼ばれ K で表される。地球温暖化のもとで、気温が年間を通じてほぼ一律に ΔT だけ上昇した場合には、この有効積算温度法則を用いれば、温暖化後の昆虫の増加世代数 ΔN を次式で表現することができる。

$$\Delta N = \Delta T [206.7 + 12.46 (m - T_0)] / K$$

ここに m は温暖化前の年平均気温である。沖縄を除く日本の多くの地域において、この式が近似的に成立することがわかっている。この式は、害虫の発生世代数の増加量 ΔN が次の場合に大きくなることを示している。(1) 温暖化の幅 ΔT が大きい(2) 現在の年平均気温 m が高い(3) 発育ゼロ点 T_0 が低い(4) 有効積算温度定数 K が小さい。したがって、非常に大まかな指標として、これらの条件に該当する地域や害虫については、将来に年間世代数が大きく増加し、それに伴って作物の被害量も増大すると予想することができる。

上の近似式を用いれば、 K を横軸、 T_0 を縦軸とするグラフに増加世代数の等高線を直線で描くことができる。この等高線を用いて昆虫の分類群ごとに増加世代数を比較すると、ダニ類やアブラムシ類といった小さな害虫では世代数がより大きく増加することがわかる(図 2)。また、水田の生物群集において増加世代数を比較すると、クモ類以外の天敵については害虫よりも一般に増加世代数が多いことがわかる(図 3)。これは温暖化のもとでは天敵類がより有効に働く場合もありうることを示唆している。

文献

Yamamura, K. and K. Kiritani (1998) A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. Appl. Entomol. Zool. 33: 289--298.

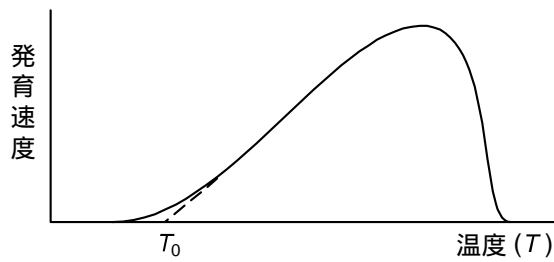


図1．温度が昆虫の发育速度に与える影響

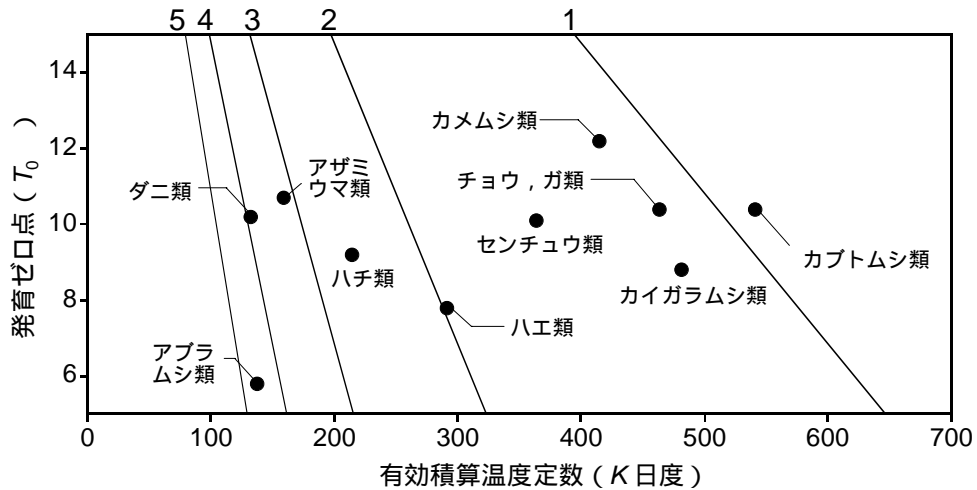


図2．分類群による増加世代数の違い(年平均気温が15の地点で気温が2上昇した場合)。斜線は増加世代数の等高線を示す。例えばハエ類は2の等高線上に位置するので、平均して2世代の増加である。ダニ類やアブラムシ類では特に増加世代数が大きいことがわかる。

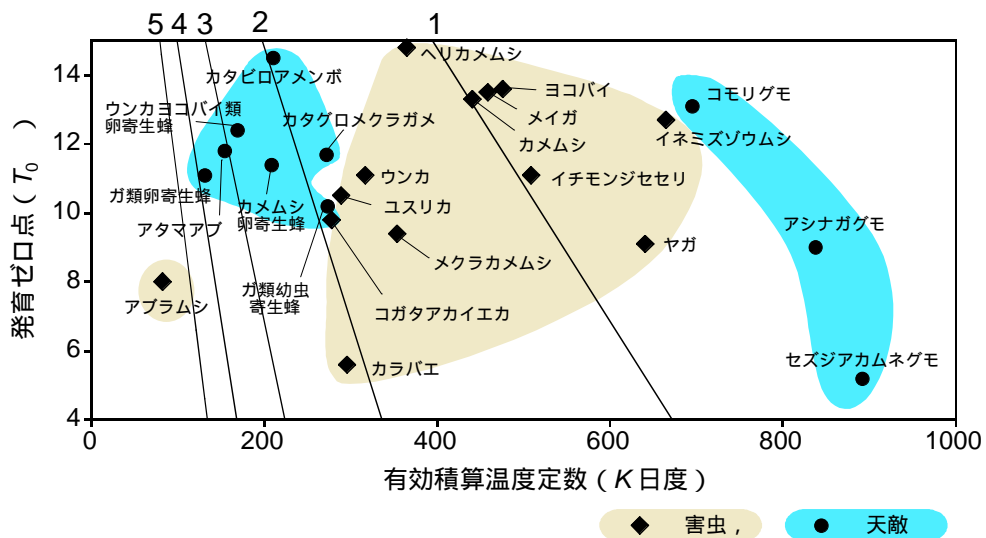


図3．水田の生物群集における増加世代数(年平均気温が15の地点で気温が2上昇した場合)。クモ類以外の天敵は害虫よりも増加世代数が一般に大きいことがわかる。

- 5 - 1 温暖化が水稻の害虫に及ぼす影響

ニカメイガ発生世代数の増加

【要約】

ニカメイガはもともと日本の多くの地域で1年に2化する、つまり2回発生することから、その名が付けられた。しかし、温暖化の影響により2060年代には多くの地域で3化するようになる。それに伴って、ニカメイガによるイネの潜在的な被害量も増える可能性がある。

【解説】

ニカメイガをはじめ多くの昆虫は冬季を休眠状態で過ごしている。これらの昆虫は冬季にうまく休眠ステージに入ることができるように、進化によって日長反応や有効積算温度定数(K)を調整してきたと考えられている。したがって、これから温暖化が進むにつれて、これらの昆虫は単に受動的にそれに反応するだけではなく、進化あるいは移動という手段によって能動的に温暖化に対応できる可能性も十分に考えられる。その場合、休眠しない系統（非休眠系統）の有効積算温度定数を用いて世代数を予測し、その端数を切り捨てることにより進化後の世代数を予測することができる。台湾には非休眠系統のニカメイガが存在するため、その発育ゼロ点と有効積算温度定数 ($T_0 = 9.3, K = 859$) を用いて世代数の予測を行った。

図1左は 気象庁の 1952～1982 年の平均気温データを用いて予測した世代数マップであり、温暖化前の世代数の推定値として位置づけることができる。日本の多くの地域では年2世代であり、東北地方の北部、北海道地域では1世代、高知の南部では年3世代であることが予想されており、これは1970年頃の実際の世代数マップとほぼ一致している。図1右はオーストラリアの連邦科学産業研究機構 (CSIRO) の全球気候モデルのデータを用いた予測結果である。二酸化炭素濃度が2倍になるといわれる2060年代に関する結果を示してある。この図によれば、ニカメイガの世代数は温暖化前と比べて日本全国を通じてほぼ1世代ずつ増加すると予想されている。

もともとニカメイガ（二化螟蛾）という和名は、それが日本の大部分の地域で2化する、すなわち年に2世代発生することから付けられた。しかし2060年代にはそれは当てはまらず、日本の多くの地域で3化するようになると予想される。一般に害虫の個体数は世代数が経過するにつれて増大してゆく。したがって、イネの栽培方法によっては、ニカメイガによる被害量も増える可能性がある。

文献

山村光司 (2001) 温暖化に伴う水稻害虫の増加。地球環境 (印刷中)。

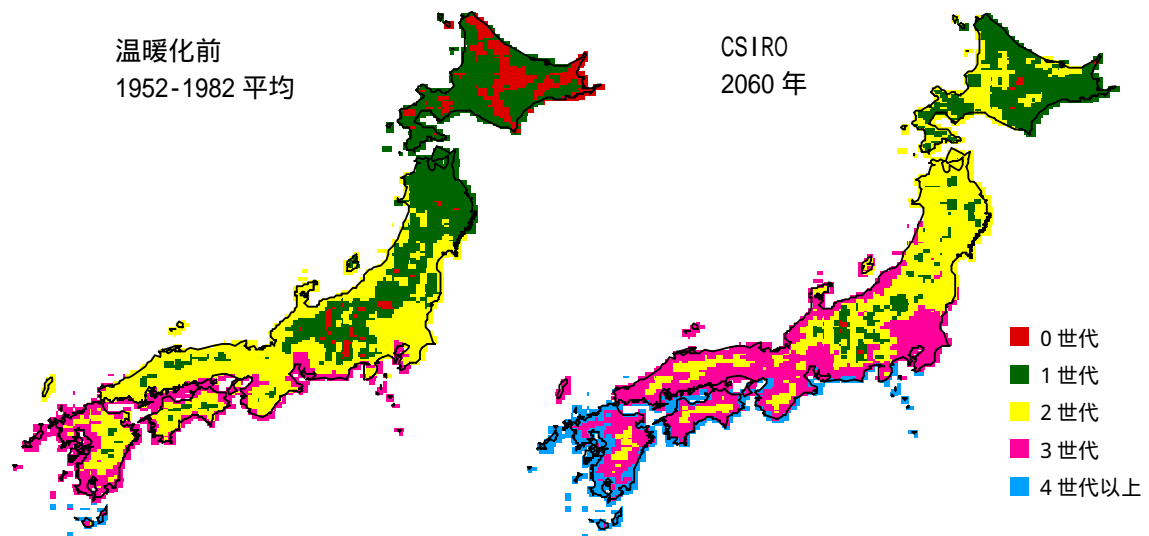


図1．ニカメイガの年間発生世代数の予測値。左：1952～1982 年の平均気温データを用いて予測した世代数マップ。日本全体の年平均気温は 11.10℃。右：オーストラリアの連邦科学産業研究機構（CSIRO）の全球気候モデルから予測した 2060 年代の世代数マップ。日本全体の年平均気温は 14.03℃。

ツマグロヨコバイ個体数の増加

【要約】

北陸地方では積雪量が少ない年にツマグロヨコバイが大発生しやすい傾向がある。温暖化のもとでは積雪量が減少するため、ツマグロヨコバイの発生量が増加する可能性が高い。全球気候モデルの結果によれば、北陸地方の海岸部における個体数は 2060 年までに上昇して最大値に到達すると予想される。

【解説】

積雪量が少ない年に北陸・東北地方でツマグロヨコバイが大発生しやすいことが以前から経験的に指摘されてきた。温暖化のもとでは降雪量が減少するため、ツマグロヨコバイの発生量が増加すると予想される。そこで、まず上越市（新潟県）、富山市（富山県）、金沢市（石川県）の 3 地点における過去 40 年間のライトトラップデータを用いて、ある年の総誘殺個体数 N_t を予測するための最適予測式を構築した。前年の個体数を N_{t-1} とし、総降雪深を S_t とすると、得られた最適予測式は次のとおりである： $\log_{10}(N_t + 0.5) = 7.9 + 0.45 \log_{10}(N_{t-1} + 0.5) - 2.3 \log_{10}(S_t) - 1.8 [\log_{10}(S_t) - 2.6]^2$ 。総降雪深の変数は 2 次項までが採用されている。これは個体数の対数値と総降雪深の対数値との間には曲線的な関係があることを意味している（図 1）。ただし、総降雪深が少ないときに個体数が減少するとは考えにくい。そこで最大の対数個体数を与える総降雪深（ $\log_{10}(S_t) = 1.95$ ）よりも総降雪深が低い場合には対数個体数は最大値（4.84）に保たれるとする予測方式を採用した。温暖化後の年降雪深は全球気候モデル（GCM）の結果から井上・横山（1998）の方式を用いて計算することができるため、この予測式を用いて温暖化後の平衡個体数を計算することができる。

予測結果は全球気候モデルによってかなり異なるが、いずれのモデルにおいても将来ツマグロヨコバイの潜在的発生量がかなり増加する可能性が示唆されている（図 2）。気象研究所の全球気候モデル（MRI モデル）を用いた場合には、対数個体数は 2060 年までに上昇して最大値に達すると予測されるのに対し、他の 4 種の GCM においては 2030 年までに最大値が達成されると予想されている。ただし、これらの図が示すのは、気温以外の環境・生育条件がツマグロヨコバイに適している場合の潜在的発生量であり、現実には必ずしもこのレベルの個体数が達成されるというわけではない。

文献

井上聡，横山宏太郎（1998）地球環境変化時における降積雪の変動予測。雪氷，60(5)，367--378。

山村光司（2001）温暖化に伴う水稻害虫の増加。地球環境（印刷中）。

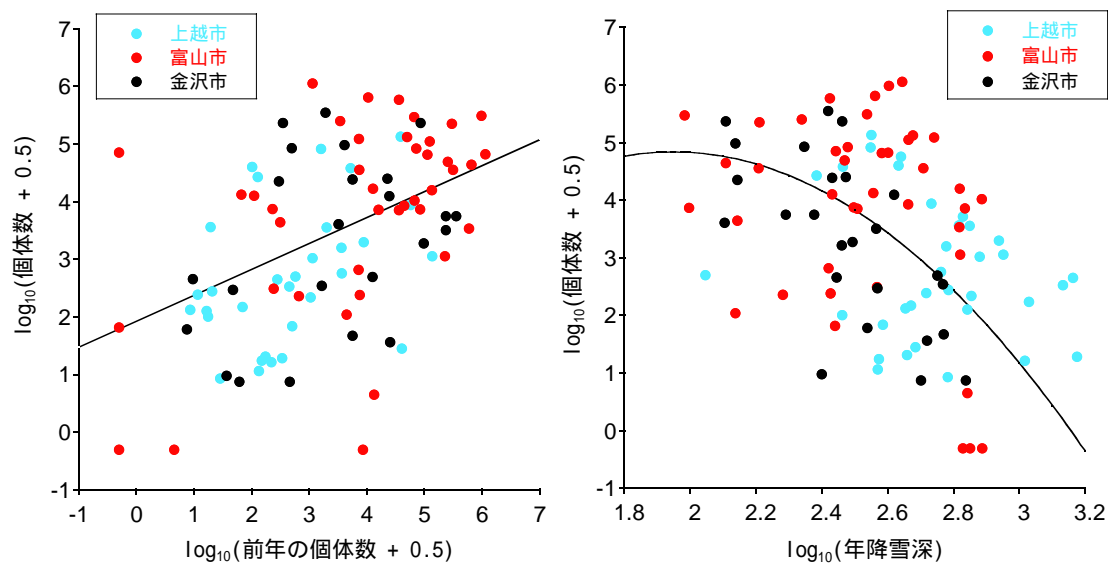


図1 .ツマグロヨコバイのライトトラップ年間総誘殺数に対する前年個体数と年降雪深の影響。

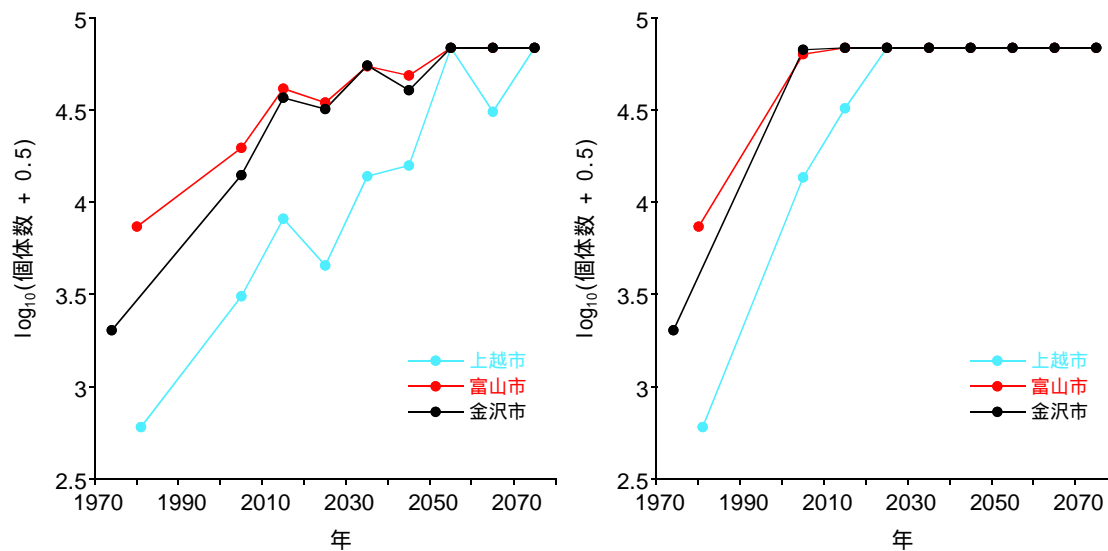


図2 .温暖化がツマグロヨコバイの年間総誘殺数に与える影響。左：気象研究所の全球気候モデル(MRI モデル)による予測結果。右：四つの全球気候モデル(CGCM1, CCSR/NIES, CSIRO-Mk2, ECHAM4/OPYC3)の平均値を用いた場合の予測結果。

ヒメトビウンカが媒介するイネ縞葉枯病の発生危険地帯のシフト

【要約】

イネ縞葉枯病を媒介するヒメトビウンカは温暖化が進むにつれて発育速度が速まるため、発生時期が早期化すると予測される。このため、縞葉枯病ウイルスに対するイネの感受期とヒメトビウンカの発生時期の同調程度が変化し、その結果としてイネ縞葉枯病の発生危険地帯がシフトする可能性がある。

【解説】

イネ縞葉枯病は移植直後の水田にヒメトビウンカの成虫が飛び込んでイネを吸汁することによって主として移される。イネ縞葉枯病ウイルスに対するイネの感受期は移植後1ヶ月程度に限られており、十分に成長したイネはウイルスに感染しない。したがって、この感受期にヒメトビウンカの成虫が水田に飛び込まなければ病気は生じにくい。このため、今までにも移植時期を移動させることによってイネ縞葉枯病の発生を回避する対策がしばしば採用されてきた。温暖化が進むにつれてヒメトビウンカの発育速度が速まるため、その発生時期が早期化すると予測される。このとき、イネの感受期とヒメトビウンカの発生時期の同調程度が変化し、その結果としてイネ縞葉枯病の発生地域が地理的にシフトする可能性がある。

現在日本の多くの地域では5月から6月に田植えが行われることから、6月1日前後が感染の危険時期であると判断することができる。図2左は温暖化前の6月1日におけるヒメトビウンカの世代数を示している。北海道には越冬世代と第1世代の境界線が存在することから、この付近には6月1日に成虫が存在しているため発病の危険地域であることが表現されている。また、関東以南には第1世代と第2世代の境界線が存在し、この地域も危険地帯であることが表現されている。これらは図1に示される1980年前後の発病地域と合致している。一方、図2右は東京大学気候システム研究センター/国立環境研究所のGCM(CCSR/NIESモデル)の結果から2060年代の6月1日における世代数を計算したものである。北海道では世代の境界線は消えて危険地帯から外れる。しかし東北、北陸地方には第1世代と第2世代の境界線が現れることから、これらの地域ではイネ縞葉枯病発生の潜在的な危険性が増加すると予想することができる。このため、これらの地域ではイネの移植時期を変更するなどの対策が必要になる可能性がある。ただし、この図が示すのはヒメトビウンカの個体数が十分に多い場合の予測値であり、その意味であくまでも潜在的な危険地帯である。

文献

Yamamura, K. and M. Yokozawa (2002) Prediction of the geographical shift in the prevalence of rice stripe disease transmitted by the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Hemiptera: Delphacidae), under global warming. *Appl. Entomol. Zool.* (印刷中).

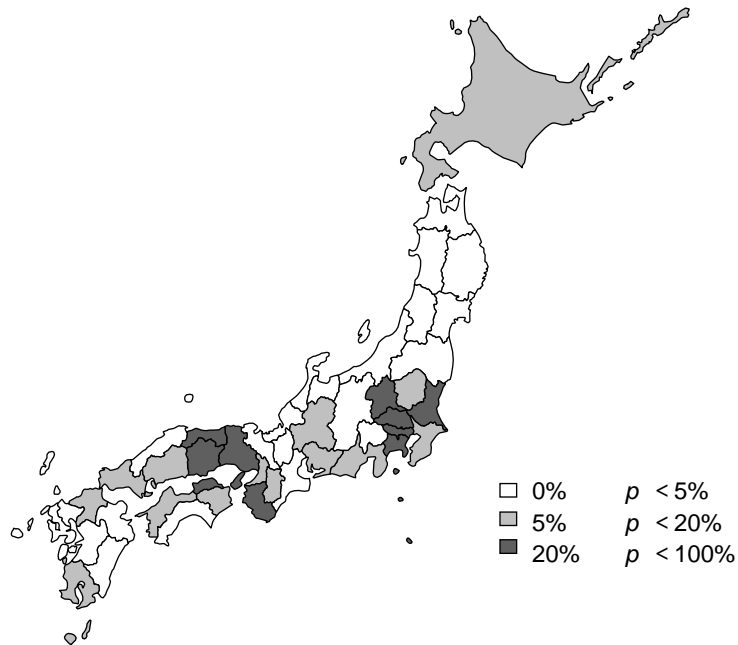


図1．イネ縞葉枯病の過去の発生分布。1980, 1982, 1984 年の県別の平均発生面積率(p)を示す（農林水産省「植物防疫年報」より描く）。北陸，東北地方では，イネの感受期と媒介者であるヒメトビウンカの発生のタイミングが合わないために病気が発生していないと考えられる。

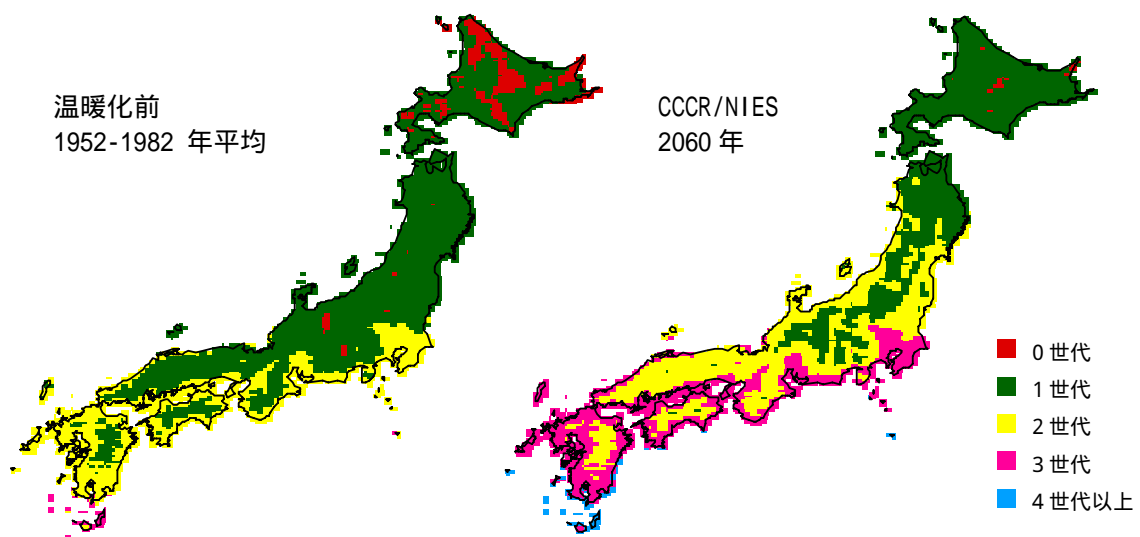


図2．6月1日におけるヒメトビウンカの世代数予測値。イネの感受期とヒメトビウンカ発生の同調性の面から考えて，世代の境界線付近がイネ縞葉枯病の危険地帯であると判断される。左：1952～1982 年の平均気温データを用いて予測した世代数マップ。右：東京大学気候システム研究センター/国立環境研究所の全球気候モデルから予測した 2060 年代の世代数マップ。

- 5 - 3 野菜の虫害について

害虫の発生量・発生時期は温度と餌植物に大きく影響される。当然のことながら、温度と餌植物以外にも降水量、降雪量、天敵・競争種の発生量、雑草等の他の寄主植物の発生量、CO₂量等も、害虫の発生量に影響を及ぼすものと考えられるが、現時点でこれらの要因を含めて変動を推測するデータはない。また、餌植物である野菜の生産量・時期等の温暖化に伴う変化は前項で論議されているので、ここではミナミキイロアザミウマ、ハスモンヨトウ、コナガの3種を取り上げ温度の上昇に伴う害虫の発生時期・量の変動を推測する。

1) ミナミキイロアザミウマ

【要約】

ミナミキイロアザミウマは南西諸島を除き越冬が加温施設に限られているが、温度の上昇により西南日本での越冬が可能となり、越冬量、越冬地域が大幅に増加する。温度上昇に伴う世代数の増加もあり、春から夏の露地作物での発生・被害が増加する。秋季も同様に発生・被害が増加する。また、北関東、南東北、北陸では晩春から秋にかけての発生が増加し、被害が問題となる。さらに、北東北、北海道でも夏期に被害が問題となる。

【解説】

ミナミキイロアザミウマは東南アジアから南アジアが原産と考えられており、1978年に宮崎県で発生が確認され、1985年までに九州・四国の全域、本州の太平洋岸の28都府県に広がり、現在では東北以南の各地で発生が見られる。しかしながら、本種は休眠性はなく、低温耐性が弱く、 -10°C で35分、 -5°C で255分、 0°C で8日で全ての態が死亡する(野中ら、1982)。このため、南西諸島では冬季も各態が多発しているが、九州本土以北での露地越冬は困難で、越冬は加温施設内に限られる。積木ら(1987)は岡山県の冬期の野外気温をもとに設定した -5°C から 5°C の変温条件での飼育試験を行い、最大で成虫は約1ヶ月、2齢幼虫は約半月間生存し、この条件での露地越冬は困難だが、若干、温度が高い条件では越冬できるとの考察をしている。すなわち、冬期の気温が上昇することにより、西南日本全域で本種の露地越冬が可能となる。現在は越冬が加温施設内に限られるため、翌春の発生源は加温施設の周囲に限られ、施設からの飛び出しを抑制し、残さを適切に処理することにより、翌春の発生を極めて低密度に抑えることが可能である。しかしながら、本種は雑草を含めて寄主範囲が極めて広いことから、露地越冬が可能となると雑草を含めた多種の植物体上で越冬することとなり、越冬量が大幅に増加するとともに翌春の発生源が大幅に広がるため、その制御が難しく、被害の初発が早くなり、春から夏にかけて西南日本の露地作物で多発することが予想される。

本種の産卵から羽化までの発育零点は 11.6°C 、有効積算温量は 189.1°C 度である(河合、1985)。これをもとに、西日本各地での春期(3月から5月)の世代数を推定すると、気温が 1°C 上昇すると世代数が $0.2\sim 0.3$ 世代、 2°C 上昇すると $0.5\sim 0.6$ 世代、 3°C 上昇すると $0.7\sim 0.8$ 世代増加する(第1表)。一世代で数十倍に増加することから、この程度の世代数の増加でも、個体数の増加に及ぼす影響は極めて大きく、この要因も春から初夏の多

発を助長すると予想される。秋にも同様なことが起こり、秋遅くまで多発することが予想される。なお、本種は30 以上では高温による発育抑制がおこるため(河合、1985)、夏のさらなる気温上昇は個体数を抑制するものと思われる。

また、気温が上昇した場合、現在、被害がほとんど問題とならない北関東、南東北、北陸地域の気温が現在の東海、南関東地域と同等となり、これらの地域では晩春から秋にかけての発生が増加し、被害が問題となる。さらに、北東北、北海道地域でも夏期には被害が問題となるものと予想される。

2) ハスモンヨトウ

【要約】

ハスモンヨトウは越冬が太平洋側の温暖地のごく一部に限られているが、温度の上昇により西南日本での越冬が可能となり、越冬量、越冬地域が大幅に増加する。このため、被害の初発時期が早期化し、温度上昇に伴う世代数の増加もあり、夏から秋の発生・被害が増加する。また、北関東、南東北、北陸では夏から秋にかけての発生・被害が増加し、北東北、北海道でも秋期に被害が問題となる。

【解説】

ハスモンヨトウはアジア、オセアニアの熱帯から温帯に広く分布する暖地系の害虫で、わが国はほぼ分布の北限にあたる。本種は休眠性がなく、わが国で本種が越冬可能な地域は、関東以南の太平洋側の温暖地で、しかも風当たりが弱い日だまりの地形に限られているが(松浦、1992)、実際には施設内での越冬も重要と考えられる。本種の成虫は施設栽培の多い地帯では5月頃から見られ、世代の経過とともに増加し、初夏から被害が問題となる。これに対し、施設栽培の少ない地帯では春から初夏の発生は少なく、発生は世代の経過とともに増加し、夏から秋にかけて被害が問題となる。

冬期の気温が上昇することにより、本種は西南日本全域で露地越冬が可能となる。このため、越冬量が大幅に増加し、これが翌春の発生源となるため、この地域では被害の初発が早期化し、晩春から多発することが予想される。また、高温により秋も遅くまで多発することが予想される。本種の産卵から羽化までの発育零点は10.3、有効積算温度は526.3日度である(Miyashita、1971)。これをもとに、西日本各地での年間の世代数を推定すると、気温が1 上昇すると世代数が0.4世代、2 上昇すると0.8~1.0世代、3 上昇すると1.2~1.5世代増加する(第2表)。西南日本全域で発生が早くなり晩春から被害がみられるようになり、また本種は世代の経過とともに個体数が増加する害虫であるため、夏から秋にかけて被害が大幅に増加することが予想される。

また、本種の成虫は長距離移動を行い、現在でも非越冬地帯では秋に大発生し被害が見られる。気温が上昇した場合、現在、被害が少ない北関東、南東北、北陸地域の気温が現在の東海、南関東地域と同様な状態となり、夏から秋にかけての被害が増加し、さらに、北東北、北海道地域でも秋期には被害が問題となるものと予想される。

3) コナガ

【要約】

温度上昇により西南日本におけるコナガの越冬量が増加し、春季は被害の発生が早期化

し、秋季は遅くまで発生する。暖地では秋から春まで多発生が継続し、春季の発生量が大幅に増加する。南東北、北陸では春季の発生が早期化し、春から夏に大発生となる。北東北、北海道でも夏の被害が恒常化する。

【解説】

コナガは熱帯から温帯までの世界各地でアブラナ科野菜の重要害虫である。本種も休眠性がなく西南日本では冬季も発育を続け、初春から被害が見られ5～6月に発生は最大となり、夏季には高温のため発生が減少し、秋に再び発生が問題となる。これに対し、北日本では本種の越冬は困難で、西南日本からの長距離移動個体が発生源となり、初夏から発生が見られ、夏に発生が最大となり、秋に減少する。また、南西諸島では夏季に発生は著しく減少するが、初秋から晩春までは高密度の発生が継続する。

冬期の気温が上昇することにより、西南日本では本種の越冬量が増加し、春季の被害の発生が早期化し、秋季の発生が遅くまで続くようになる。暖地では秋季の発生がそのまま春季の発生に継続するようになり、春季の発生量が大幅に増加することが予想される。南東北・北陸地域では越冬可能地域が北部に広がるため春季の発生が早期化し、春に被害が多発し、その後も増殖を続け夏期に大発生となることが予想される。北海道・北東北での越冬量は多くないが、春季の南からの飛来が早期化するとともに飛来量も増加し、夏期の発生が恒常化するとともに、発生量が増加することが予想される。

表1 春期（3月～5月）のミナミキイロアザミウマの推定世代数

地 点	鹿児島	宮崎	高知	広島	和歌山	静岡
現状	2.0	1.8	1.7	1.2	1.5	1.4
1℃上昇	2.2	2.1	2.0	1.4	1.7	1.7
2℃上昇	2.5	2.3	2.3	1.7	2.0	1.9
3℃上昇	2.8	2.6	2.5	2.0	2.2	2.2

表2 ハスモンヨトウの年間の推定世代数

地 点	鹿児島	宮崎	高知	広島	和歌山	静岡
現状	2.0	1.8	1.7	1.2	1.5	1.4
1℃上昇	2.2	2.1	2.0	1.4	1.7	1.7
2℃上昇	2.5	2.3	2.3	1.7	2.0	1.9
3℃上昇	2.8	2.6	2.5	2.0	2.2	2.2

文献

河合 章(1985)ミナミキイロアザミウマ個体群の生態学的研究 7. 増殖能力に及ぼす温度の影響. 応動昆29: 140-143.

松浦博一(1992)ハスモンヨトウの耐寒性と越冬. 植物防疫46: 60-63.

Miyashita, K. (1971) Effects on constant and alternating temperatures on the development of *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae). Appl. Entomol. Zool. 6: 105-111.

野中耕次・永井清文・山本栄一(1982)果菜類を加害するアザミウマ類の生態と防除に関する研究 第4報 ミナミキイロアザミウマの耐熱及び耐寒性. 九農研44: 119.

積木久明・永井一哉・兼久勝夫(1987)ミナミキイロアザミウマの低温耐性. 冬期と夏期個体群の低温下での生存期間. 応動昆31: 328-332.

- 5 - 4 果樹の虫害について

1) カメムシ

【要約】

主要な果樹カメムシ類はチャバネアオカメムシ、クサギカメムシ、ツヤアオカメムシである。チャバネアオカメムシは全国的に、クサギカメムシは比較的冷涼な地域に、ツヤアオカメムシは比較的温暖な地域に多発する。成虫で越冬し、気温の上昇とともに移動を開始する。針葉樹林帯が主な繁殖地であり、球果の豊凶はカメムシの発生数に強く影響する。このため、温暖化により分布域が北にシフトするとともに、行動開始時期の早まりや繁殖シーズンの拡大ならびに球果の早期成熟が起こることから、カメムシの被害が増大すると予想される。

【解説】

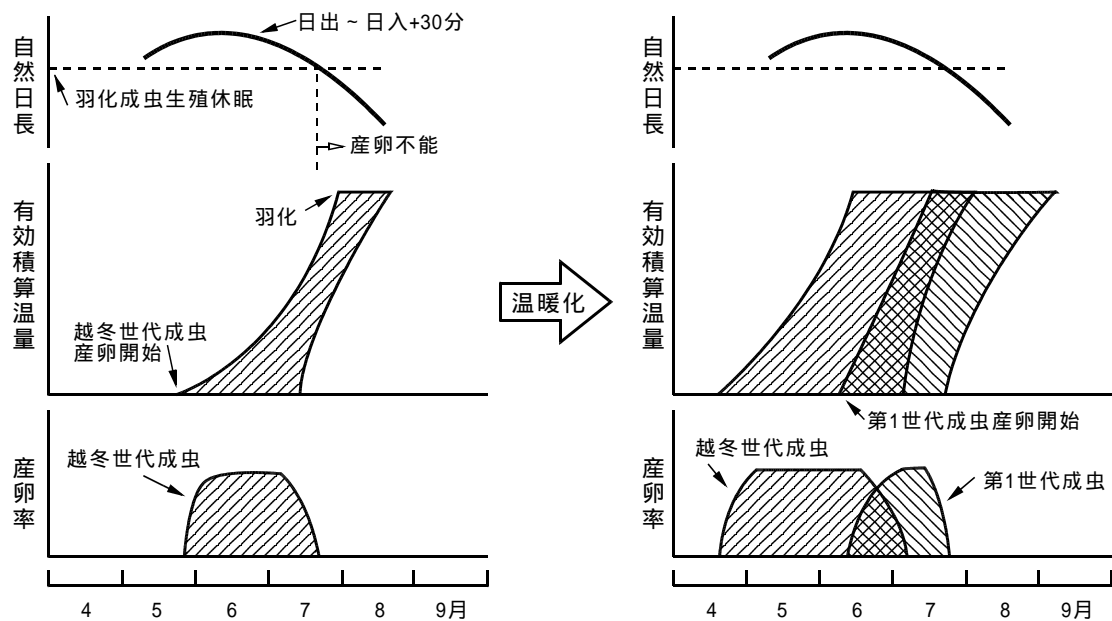
チャバネアオカメムシは全国的に分布するが、クサギカメムシは北陸から東北地方に多く、ツヤアオカメムシは四国や九州の西南暖地が多い。発育零点はクサギカメムシ、チャバネアオカメムシ、ツヤアオカメムシの順に高くなる傾向がある（第1表）。また、ツヤアオカメムシでは30℃を超えると幼虫の発育遅延や成虫の早期死亡などの高温障害が生じる。このため、気温上昇により分布域が北にシフトし、各地域のカメムシの種構成が変化すると考えられる。

カメムシは成虫越冬しており、気温が10℃前後になると吸水行動を示し、10℃で飛翔行動を起こす。したがって、温暖化は加害開始の早期化をもたらす。同時に、繁殖活動の早期化にもつながり、繁殖シーズンが拡大する。新しく羽化した成虫は14～15時間の日長で生殖休眠に入り産卵しないが、繁殖シーズンが早まれば第1世代成虫も産卵が可能となるため、世代数が増加すると考えられる（第1図）。

果樹カメムシの主要な繁殖場所は針葉樹林帯である。スギやヒノキは前年の夏に花芽分化するため、高温で乾燥した気象条件では翌年の球果の結実量が多くなる傾向がある。また、カメムシは球果の種子を主な餌とするが、温度上昇により球果の成熟が促進されるため、カメムシの増殖率が増大すると推測される。

第1表 カメムシの发育零点と有効積算温度

種 名	期間	发育零点 ()	有効積算温度 (日度)	出 典
チャバネアオカメムシ				
	卵～羽化	14.0	411	梅谷ら(1977)
	卵～羽化	13.8	385	田中(1979)
	卵～羽化	12.7	430	藤家(1985)
クサギカメムシ				
	卵～羽化	12.1	598	梅谷ら(1976)
	〔 卵～ふ化 ふ化～羽化	12.7	68	柳・萩原(1980)
		13.9	403	
ツヤアオカメムシ				
	〔 卵～ふ化 ふ化～羽化	16.1	68	高橋(1985)
		13.6	326	



第1図 温暖化に伴うカメムシ年間発生回数の変化に関する模式図

2) カイガラムシ類

【要約】

広範な果樹を加害する主要なカイガラムシとしてはフジコナカイガラムシとクワコナカイガラムシである。カンキツではこれらの他ミカンヒメコナカイガラムシとミカンコナカイガラムシ、アカマルカイガラムシの3種が重要な種である。温暖化によりカンキツのカイガラムシ類の分布域が北上するとともに、発生時期の早期化や発生回数の増加により被害が増加すると予想される。また、ウィルス伝搬種によるウィルス病の発生増加が懸念される。

温暖化により土着の有力天敵の発生回数も増加することからその活動が期待されるが、天敵は後追的に発生することや他の病害虫防除との関係から自然発生の天敵利用には限界がある。

【解説】

カンキツに寄生するカイガラムシのうちミカンコナカイガラムシは他2種に比べ低温に対し弱いと考えられ、沖縄などの南部諸島でのみ露地での発生が認められている。温暖化により分布域が北上し本州でも問題となることが予想される。

ミカンヒメコナカイガラムシとその寄生蜂 *Allotropa* sp. と *Anagyrus subalbipes* ならびにフジコナカイガラムシの1世代に要する有効積算温度はそれぞれ636、518、234、759日度である。年平均気温が1、2上昇した場合に得られる積算温度は最大で365、730日度と考えられ、2度上昇したときに得られる温量はフジコナカイガラムシでは1世代の発育に必要な温量に達しないが、ミカンヒメコナカイガラムシと *Allotropa* sp. では1世代、*A. subalbipes* では2～3世代の発育に必要な温量以上である。一方、露地におけるコナカイガラムシ類の防除適期である第1世代幼虫の発生時期は1上昇ではほとんど変化はなく、2上昇で10日ほど早くなる。以上から、露地で発生している2種コナカイガラムシ類については、平均気温が2上昇した場合に発生時期が早まり、1世代多く発生できるようになる。天敵の発生回数もそれ以上に増加すると予測されるが、初期のコナカイガラムシの発生抑制効果は期待できない。ミカンコナカイガラムシが温暖化により露地で越冬できるようになった場合、他2種コナカイガラムシよりも1世代多く発生できると考えられることや、本種に対する土着寄生蜂類の寄生性が劣ることなどから、露地においても問題が発生する可能性がある。アカマルカイガラムシの発育有効積算温度は639日度で、年平均気温が2上昇した場合、年発生回数が1世代多くなると考えられる。本種には密度を低く抑える天敵が国内に存在しないため重要加害種となる可能性がある。

コナカイガラムシ類では果樹のウィルス病を伝搬することも知られており、フリー苗における2次的伝搬が増加し、ウィルス汚染の問題が増加すると考えられる。

参考文献（発育データ）

新井朋徳（1996）応動昆．40：25-34.

Yu D. S. and R. F. Luck (1988) Environ. Entomol. 17: 154-161.

寄生蜂類のデータは（新井、未発表）

3) ハダニ

【要約】

ハダニ類の発育は様々な環境要因によって影響を受けるが、発育速度に対しては気温の影響が最も大きいと考えられる。また、発育期間が短いため、温暖化による年間発生世代数の増加が見込まれる。しかし、休眠性を有する種では日長が世代数の増加を制限する要因になると予想される。また、土着天敵類についても同様に世代数が増加すると考えられる。

【解説】

ハダニ類は発育期間が短く、適温の範囲内であれば温度が高いほど発育が速くなる。また、高い増殖力を有するため、気温の上昇によって年間の発生回数および発生量が多くなることが予測される。また、ハダニ類には雌成虫が休眠して越冬する種や秋に休眠卵を産み、卵越冬するものがあり、その一方ではまったく休眠しないですべての発育ステージで越冬する種もみられる。休眠は主に短日低温条件下で誘起されるため、休眠性を有する種については地域による日長の差異も年間発生に影響を及ぼす。

過去のデータから、ミカンハダニの卵から産卵開始までの期間の発育零点を 8.96、有効積算温度を 210.53 日度（内田，1982）として気温の平年値を元に計算すると、千葉市では3月下旬から年間12世代を、松山市では3月中下旬から13世代を経過し、気温が発育零点を下回る11月下旬から増殖が停止すると推定された。温暖化により両地域の平均気温が2℃上昇した場合を想定して再計算すると、繁殖時期は千葉市では3月上中旬～12月上中旬、松山市では3月上旬～12月中旬となり、年間世代数はいずれにおいても3世代程度増加すると予測された。

リンゴハダニについて、発育零点を 6.92 とし、最高気温から計算された有効積算温度（244.5 日度）（津川，1972）を用いて、冬から春の気温の上昇が休眠卵のふ化に及ぼす影響を検討した。その結果、盛岡市では休眠卵のふ化開始時期は平年値では5月上旬であるが、2℃の気温の上昇によってほぼ10日程度早まり、4月下旬になると推定された。冬季に休眠する種では気温のみならず日長の変化が年間世代数に影響する。そこで、ナミハダニについて、発育零点を 10、卵から産卵始めまでの有効積算温度を 179.8 日度として（内田，1982）光温図を用いて温暖化の影響を検討した。盛岡市の気温ではナミハダニは4月の第6半旬から活動を始め、7世代の発育が可能と考えられた。しかし、この地域のナミハダニの休眠臨界日長は12時間50分程度である（後藤・真梶，1981）。6世代目（越冬雌成虫を加えれば7世代目）の成虫が出現し始める9月の第一半旬には日長がこれより短くなり、休眠が誘起されるため、盛岡市におけるナミハダニの平均的な世代数は6世代程度と推定される。平均気温が2℃上昇した場合には、春の活動開始時期は4月の第5半旬と推定され、また年間の有効積算温度から9世代の発育が可能と考えられた。しかし、日長には変化がないため、7世代目の後半には臨界日長に達した。したがって、盛岡市では2℃の気温上昇でナミハダニの世代数は1ないし2世代増加すると推定された（図1）。ナミハダニの日長感受性は地域個体群間で異なるため（後藤・真梶，1981）ため、長野市のナミハダニの臨界日長を12時間と仮定して、光温図による解析を行ったところ、2℃の平均気温の上昇により、年間世代数がほぼ2世代増加すると推定された（図2）。

ハダニ類の代表的な土着天敵であるケナガカブリダニについて、発育零点を 12.2°C 、有効積算温度を 103.8 日度とし、休眠臨界日長（成虫休眠）を 13 時間として（浜村，1986）光温図による解析を行った。この結果、平年値では盛岡市で年間 $7 \sim 8$ 世代、長野市で 11 世代、千葉市で 12 世代、松山市で 13 世代が経過し、これらの地域で平均気温が 2°C 上昇した場合、盛岡市で $2 \sim 3$ 世代の増加、その他の地域ではいずれも 3 世代の増加が予想された（図 3，4）。

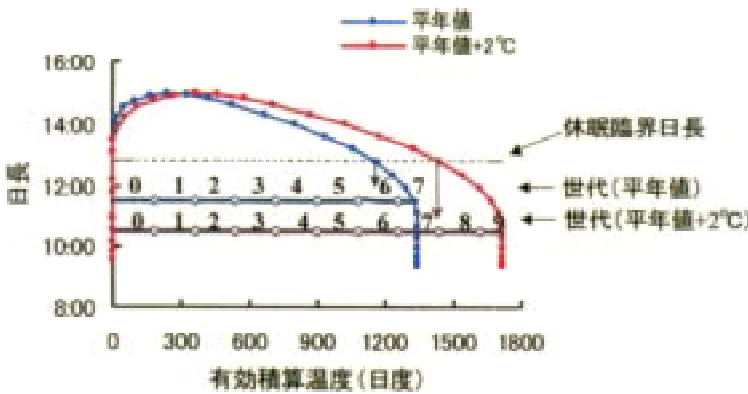


図 1 平均気温が 2°C 上昇した場合の盛岡市におけるナミハダニの光温図と推定世代数の変化。図中の \downarrow は休眠開始時期を示す。

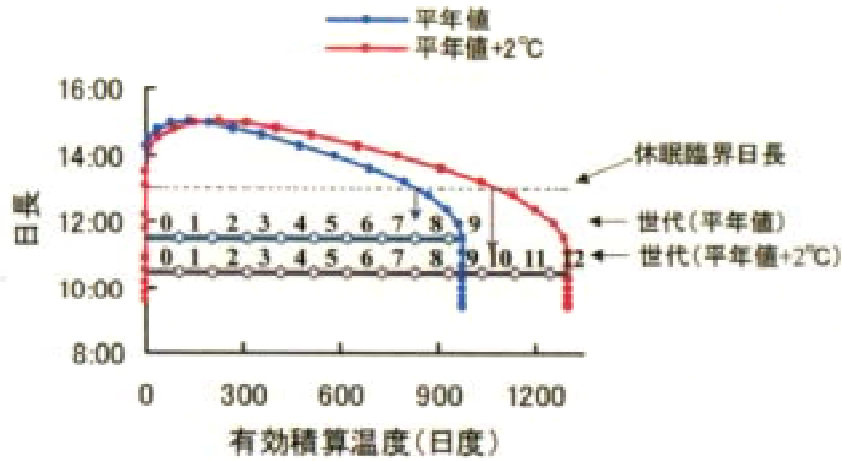


図 2 平均気温が 2°C 上昇した場合の盛岡市におけるケナガカブリダニの光温図と推定世代数の変化。図中の \downarrow は休眠開始時期を示す。

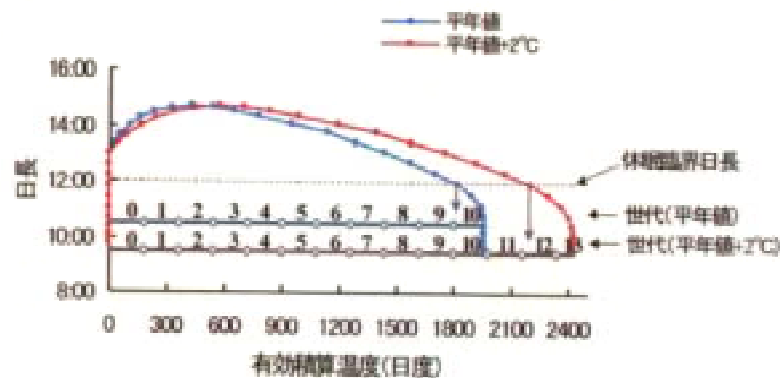


図 3 平均気温が2℃上昇した場合の長野市におけるナミハダニの光温図と推定世代数の変化。図中の↓は睡眠開始時期を示す。

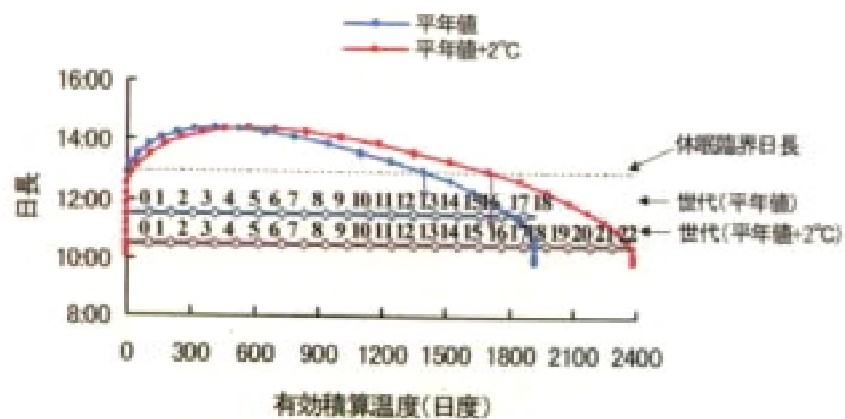


図 4 平均気温が2℃上昇した場合の松山市におけるケナガブリダニの光温図と推定世代数の変化。図中の↓は睡眠開始時期を示す。

- 5 - 5 茶の虫害について

常緑の永年性作物である茶樹には厚い葉層があり、慣行防除園においてもその樹冠内部は害虫と天敵を保護し、他作物に比べて安定した生態系を構成している。この安定した生態系に加えて植物としてのチャの国際的な移動が非常に少ないことから、これまで海外からの侵入害虫による問題はほとんどみられない。

茶樹は亜熱帯性の樹木であり、茶害虫の種類も地域によって大きく異なる。九州と台湾の間に位置する沖縄では日本産と台湾産のチャ害虫が混棲しており、温暖化に伴いマンゴーハダニ、チャノクロヒメハマキ、*Parametriotes theae*が九州地域を中心に分布を広げる可能性がある。

害虫の発育はさまざまな環境要因に影響を受けるが、休眠を考慮しなければ温度との関係が最も大きく、有効積算温度の法則によって年間世代数の推定が可能となる。茶害虫の休眠性は種によって異なり、種によっては世代の重なりが著しく世代間の区別が困難な場合がある。ここでは年間世代数や休眠性の異なる茶樹の重要害虫であるハマキガ類、カンザワハダニ及びクワシロカイガラムシについて温暖化に伴う発生変動を推測する。

1) ハマキガ類

【要約】

ハマキガ類の年間世代数は、年平均気温の上昇に対応して増加する。また、わが国においてチャを加害するハマキガ類は全て休眠性を持たず幼虫で越冬するため、冬季の温度上昇に伴い、越冬幼虫の死亡率の低下や発生の早期化、不斉一化が促進される。このような発生パターンの変化に伴い、薬剤散布の適期が不明瞭となるため、薬剤散布による防除はより困難になるものと予測される。

【解説】

チャノコカクモンハマキ、ウスコカクモンハマキ、チャハマキの3種は、チャの主要害虫であり、いずれも静岡で年4世代、鹿児島、宮崎等の南九州地域で年5世代、沖縄では周年発生する。例としてコカクモンハマキ成虫の発消消長を図1に示す。温暖化に伴う気温上昇に対応し、これら害虫の年間世代数は増加するものと予測される。また、3種はいずれも常緑樹に適応しており、休眠せずに幼虫で越冬する。このため、晩秋から早春にかけての温暖化により発生が早期化するとともに、冬季の気温上昇が越冬幼虫の死亡率を低下させ、発生の不斉一化をさらに促進させるものと考えられる。発生の不斉一化により、現在広く用いられている薬剤散布による防除の散布適期は不明瞭となり、薬剤散布による防除はより困難になるものと予想される。

2) カンザワハダニ

【要約】

カンザワハダニは冬季に90～100%の個体が雌成虫態で休眠するが、一部は増殖を続け低密度ながら周年発生する。季節的発生パターンは地域によって異なり、春秋に多発する2山型と夏季に多発する1山型がある。冬季における気温の上昇は休眠率を低下させ、周

年発生する個体を増加させる。夏季の高温は餌質等の環境要因を発育に不適にさせ、春秋に多発する2山型の発生パターンが増加し、一番茶期の防除対策が重要となる。

【解説】

カンザワハダニの光周反応は長日型で臨界日長よりも短い日長で雌成虫の生殖休眠が誘導される。臨界日長は地域個体群によって異なり北の個体群ほど長くなる地理的勾配変異を示す。休眠の誘導には短日とともに低温が必要であり、南の個体群ほど低温を必要とする。近年の暖冬化によって、九州地域では越冬期の休眠率の低下と発育ステージの混在が目立っており、萌芽期の防除適期の把握が困難となっている。休眠率が低下し各種の発育ステージが混在する地域は温暖化の進行に伴って拡大する(図2)。

カンザワハダニの世代数は年10世代程度であるが、茶園での世代の区別は困難である。温暖化の影響は、世代数の増加よりも茶樹あるいは天敵との関係が重要となる。2山型の発生パターンは、ケナガカブリダニ等の天敵類と夏季の高温による茶葉の生理的条件の変化が主要因とされている。温暖化は夏季の発生を抑制するとともに春秋期の発育好適期間の延長をもたらす、主要な天敵であるケナガカブリダニの活動にはカンザワハダニが増殖するよりも高い温度が必要であることから春秋期の密度増加が懸念される。

3) クワシロカイガラムシ

【要約】

クワシロカイガラムシは雌成虫の卵巣卵が未発育な状態で休眠し、この生殖休眠は冬至頃まで維持される。本種の年間世代数は地域によって異なり、高冷地では年2世代、平坦地・暖地では年3世代を経過するが、年によって4世代の発生が認められる。温暖化によって境界地域での世代数は増加するが、多くの地域では季節適応に破綻を生じる可能性が高く、世代数の増加はみられず発生の早期化を生じる。

【解説】

クワシロカイガラムシの休眠は温度によって誘導されるが、年間世代数との関係については不明であり、休眠誘導条件とその地理的変異の解明が望まれる。雌成虫の休眠は17.5～22.5℃で維持されるが、低温(15℃以下)が継続することによって覚醒する。自然条件下での休眠覚醒時期は冬至頃であり、越冬世代雌成虫の半数が産卵する時期は発育零点を10.5℃とした有効積算温度(150日度)によって推定することができる(図3)。

年間世代数は地域によって異なるが、年平均気温が13℃程度の地域では年2世代、14℃程度で年3世代とされている。鹿児島で1世代の発育に要する有効積算温度(発育零点6.9℃、952日度)によって年間世代数を推定した結果は年4～5世代であるのに対して、茶園での世代数は3世代であった。本種の発育は30℃以上の高温で抑制されること、世代期間が長いことから、年間世代数を維持する機構が働くものと推定される。温暖化に伴って、第1世代ふ化盛期(防除適期)の早期化が顕著となるが、年間世代数は世代数の境界付近を中心に徐々に変化するものと推定される。

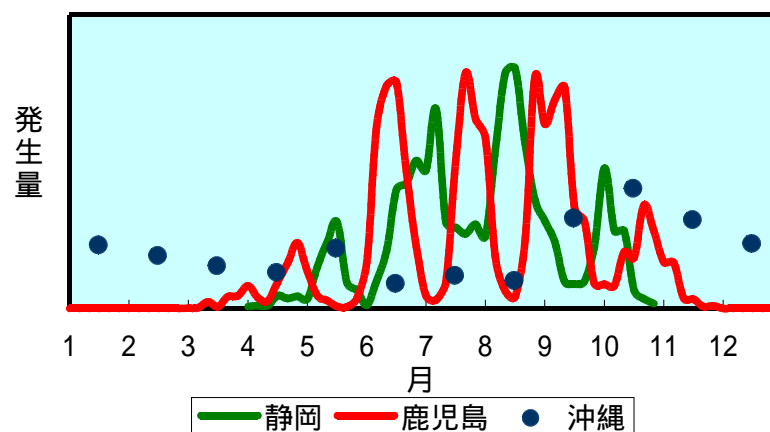


図1 コカクモンハマキ発生の地域間差

縦軸は相対値。病害虫防除所のデータ(半旬別平年値、沖縄は月別)を基に作図。

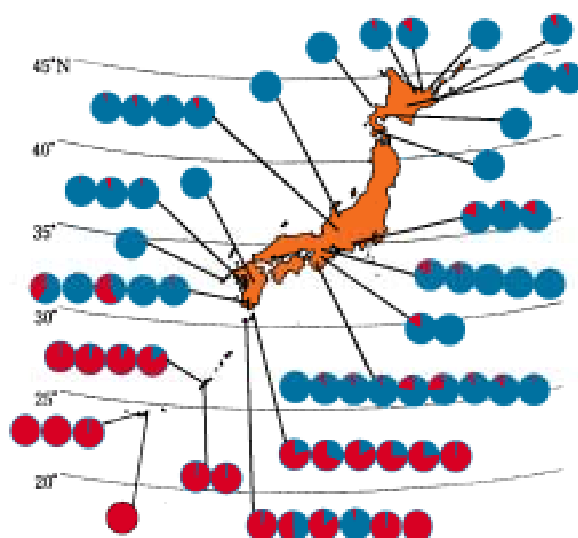


図2 カンザワハダニの休眠性の地理的変異 (Takafuji et al., 2001)

青色部は20℃における休眠発現した雌成虫の比率を示す。

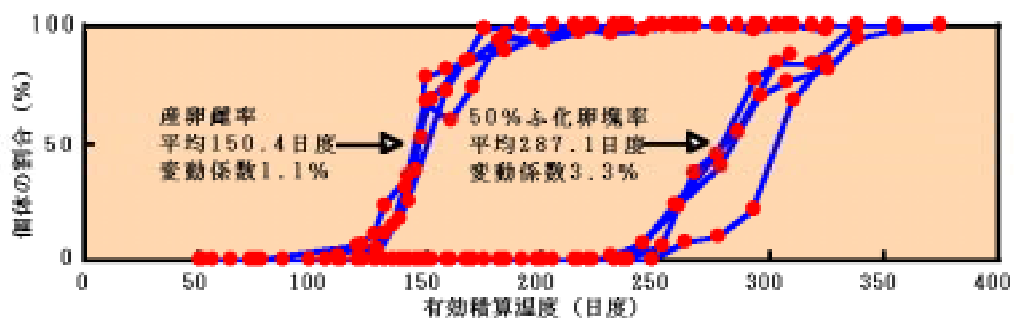


図3 クワシロカイガラムシ越冬世代の産卵雌率・50%ふ化卵塊率と温度 (野菜茶研)

注) 发育零点10.5℃、起算日を1月1日とした。

執 筆 関 係 者 一 覧

執筆関係者一覧

平成 14 年 4 月 1 日現在

所 属	氏 名
(独) 農業技術研究機構 中央農業総合研究センター 耕地環境部 畑雑草研究室 病害防除部 糸状菌病害研究室	浅井 元朗 岩野 正敬
(独) 農業技術研究機構 作物研究所 畑作物研究部 豆類栽培生理研究室 " 麦類栽培生理研究室	高橋 幹 渡辺 好昭
(独) 農業技術研究機構 果樹研究所 生理機能部 環境応答研究室 生産環境部 上席研究官 " 病原機能研究室 " 虫害研究室 カンキツ研究部 栽培生理研究室 " 虫害研究室 リンゴ研究部 上席研究官 " 病害研究室 " 虫害研究室	杉浦 俊彦 芦原 亘 今田 準 足立 礎 緒方 達志 (技術会議事務局 技術安全課) 新井 朋徳 吉岡 博人 (技術会議事務局 研究交流課) 吉田 幸二 刑部 正博 (京都大学大学院 農学研究科)
(独) 農業技術研究機構 野菜茶業研究所 葉根菜研究部 作型開発研究室 果菜研究部 栽培システム研究室 " 虫害研究室 " 病害研究室 茶業研究部 上席研究官 " 育種素材開発チ・ム " 土壌肥料研究室 " 病害研究室 " 虫害研究室 " " 機能解析部 " 環境ストレス研究室 " 茶生理遺伝研究室	岡田 邦彦 高市 益行 河合 章 我孫子 和雄 (退職) 阿南 豊正 大前 英 松尾 喜義 秋田 滋 武田 光能 佐藤 安志 山下 市二 今田 成雄 水野 直美
(独) 農業技術研究機構 九州沖縄農業研究センター 水田作総合研究チ・ム	森田 弘彦
(独) 農業環境技術研究所 地球環境部 " 気象研究グル・プ " 食料生産予測チ・ム 生物環境安全部 昆虫研究グル・プ	林 陽生 鳥谷 均 小林 和彦 石郷岡 康史 谷山 一郎 横沢 正幸 西森 基貴 山村 光司
農林水産省農林水産技術会議事務局 技術政策課研究調査官 " " "	生駒 吉識 (果樹研究所カンキツ 研究部品質機能研究室) 森田 敏 吉永 優 鈴木 健 (農業環境技術研究 所化学環境部有機化学物質研究 グル・プ)

執筆関係者一覧

平成 14 年 4 月 1 日現在

所 属	氏 名
農 林 水 産 省 大 臣 官 房 企 画 評 価 課 技 術 調 整 室	竹 原 敏 郎 (生 産 局 生 産 資 材 課)
〃	鈴 木 良 典
〃	大 谷 隆 二
〃	津 川 春 人

(注 : 氏 名 の 〃 印 は 平 成 1 4 年 4 月 1 日 で 異 動 (現 職 を () で 表 示)