

# 厚生科学研究費補助金（新興・再興研究事業）

## 分担研究報告書

### 侵入昆虫の移動分散能力の解析

分担研究者 上宮健吉 久留米大学医学部助教授

研究要旨 フライトミル測定によって特定のハエ類に長距離、長時間の連続飛来をする種と、短距離で断続的な飛翔をする種の性質が明瞭に区別された。長距離飛翔をした種にはイエバエ科のイエバエやクロバエ科のオビキンバエ、ホホグロオビキン、ケブカクロバエ、オオクロバエに認められた。これらの最大連続飛翔時間と最大連続飛翔距離はそれぞれイエバエ(3.53 h, 9.32 km) オビキンバエ(4.56 h, 18.22 km), ホホグロオビキン(3.49 h, 15.07 km), ケブカクロバエ(7.82h, 30.34km)に達した。特にオオクロバエが顕著な長距離、長時間連続飛翔を示し、その最大値は平戸産の野生虫で10.54 h, 48.40 kmの連続飛翔値を示した。一方、ニクバエ科のゲンロクニクバエやイエバエ科のオオイエバエ、クロバエ科のヒロズキンバエはともに断続的で短距離の飛翔性を示した。

飛翔形質として測定した飛翔後の体重減少率はその減少率の大きさから、オビキンバエ、ホホグロオビキン、ケブカクロバエ、オオクロバエの成体の保有する飛翔エネルギー能の高さを反映した。オオクロバエの野生個体では飛翔後の体重減少率が飛翔前の45%の減少率を超える個体もあり、飛翔未経験の室内増殖個体では58%に達する減少率を示す個体があった。

オオクロバエの日本、韓国の各地域集団の翅長、胸長を比較し、またこれらの形質と飛翔能力と対応した結果、やや地域的な傾向が認められた。これは従来から推測されてきたオオクロバエの国外からの飛来侵入を示唆する根拠になると考えられる。すなわち、体サイズの差は国内へ飛来分散する集団が到達距離に比例した結果であることや、10月中旬に飛翔実験に供試された韓国、福岡、久留米のオオクロバエ集団の飛翔能力が著しく低く、11月1月の他の地域や同地域の野生集団の飛翔量とは明らかな違いが認められることは、秋口の供試個体が日本に飛来した直後の長距離飛翔経験を示すものと考えられる。また韓国の供試虫の同様の性質は、韓半島のオオクロバエ集団も他地域から飛来したものと判断された。

## A. 研究目的

地理的、気候的にアジア大陸や東南アジアから通年的にわが国に飛来侵入する衛生害虫、農業害虫は少なくない。地球温暖化が強く認識される中で、ウイルス病や原虫病を媒介する昆虫のわが国への侵入、国内での移動・伝搬経路を推定することは、病気の発生源を知り、対策を検討する上で非常に重要であるが、国内で越冬しない昆虫類の国外からの飛来経路を推定することは容易ではない。近年、長距離移動性昆虫で数種のウイルス病を媒介する農業害虫について、飛来個体の様々な形態および形質、あるいは生理学的特徴を比較して長距離飛翔のメカニズム、およびその飛来源の推定などが解明されつつある。

最近、腸管出血性大腸菌 O157の感染媒介者としてハエ類が問題視されている。ハエ類は消化器伝染病等を伝播する重要な衛生害虫でありながら、その移動分散については良く分かっていない。微小な病原体が移動性に優れている昆虫、とりわけ活動性の高いハエ類を利用することにより、より効率的に分散する戦略を持つ可能性が考えられる。生物生態系のなかで、仕組まれた微生物と昆虫との関係を、感染症の伝播に果たす役割として、ベクターの移動と飛翔能力の観点から測定し研究することは極めて重要なテーマである。同様に、マラリアやデング熱などの人体感染寄生虫類を媒介する熱帯産のカ類が人為的な経路で空港、港湾で捕捉されるケースが増加している。カ類の疾病媒介能は、メス蚊の吸血間隔つまり産卵間隔によって大きく左右される。従って、空港の周囲で一時的に繁殖する集団が国内へ移動分散する能力の予測は発生のメカニズムを生理学的な観点から明らかにすることと同様に、疾病媒介コントロールを考える上で非常に重要なことである。O157の病原性媒介能を持つオオクロバエが、特定の季節に韓半島から飛来侵入するという仮説や、日本脳炎ウイ

ルスが南方から飛来する感染媒介蚊によって導入されるという仮説は、適応分散の繁殖戦略としての評価とともに、この仮説を実証的に飛翔の実態を解明することは重要である。また、各種のカ類についても、東南アジア地域において日本脳炎、マラリア、デング熱等の媒介に関与する種の移動分散能力の理解も緊急な状況にある。それらの潜在飛翔力を具体的に飛翔力の客観的な測定によって調査することが望まれている。蚊や蠅類は微小な虫体であるために、飛翔能力に関する国内外の研究は極めて少ない。また、長距離飛翔力を示唆する海上や島での採集記録はあるが、蚊の長距離の飛翔力の実態はいまだ解明されていない。このような背景から、本研究では、疾病媒介昆虫の代表な種を中心に、その飛翔に伴う様々な機構を行動学的、生理学的に研究することを目標とする。

飛翔能力とは成虫が保有する脂肪、炭水化物（主にグリコーゲン、トレハロース）、タンパク質のエネルギー源の大きさに従い、また、飛翔行動を興す遺伝的素質を反映する。飛翔能力を多くの種集団で比較し、また、疾病媒介能を国内での移動分散能力から検討して、長距離飛翔のメカニズムを解明する試みは、新たな疾病媒介昆虫に対する防除法の開発への貴重なデータを提供するだろう。なぜなら、衛生昆虫がどの程度の移動分散能力を持ち、国外から長距離飛来するものかについての研究は、医学上の防疫対策としても重要なことであり、この解明が本分担研究の大きな目的である。

## B. 研究方法

飛翔量の測定に供試した材料は日本および韓国産のハエ類で、野外で採集した直後の野生虫と、L:10.5-D:13.5の照明下の約25℃の室内条件で飼育した増殖虫である。増殖虫は野生虫から採卵し、屋外の自然日長条件で幼虫を飼育し、羽化した成虫を室内で飼育した。供試虫とし

て、イエバエ科のイエバエ、オオイエバエ、クロバエ科のヒロズキンバエ、ホホグロキンバエ、オビキンバエ、ケブカクロバエ、オオクロバエ、およびニクバエ科のゲンロクニクバエの計8種を用い、飛翔測定個体数は2月末現在で合計222頭を供試した。飛翔能力の測定には、摩擦係数を少なくするために新たに開発した磁気浮上式の特殊な回転式飛翔量測定装置（フライトミル）を用いた、回転飛翔の速度や距離の持続性や休止の活動を電氣的に変換した客観的な物理量として測定した。フライトミルの回転飛翔の機械的な変量をデジタル信号に変換し、ブリューエル&ケアー社の専用計測DSPボード、および入力モジュールによって出力信号とした。高速演算処理の可能なデル社のパーソナルコンピュータを介してナショナルインスツルメント社の計測解析ソフトによって測定を自動制御し、得られたデータを統計的に演算解析した。

なお、本研究においては倫理面に係わる問題は研究対象であるハエ類の実験生物的性質によって、特に配慮する必要はなかった。

## C. 研究結果

### 平成12年度調査実施項目

- 1) 新しい飛翔量測定装置の製作と測定作業の自動制御ソフトの作成
- 2) フライトミル測定による室内実験下での飛翔量測定  
イエバエ科、クロバエ科、ニクバエ科各種の飛翔能力の比較
- 3) オオクロバエの飛来動態と形態生理特性の調査
  - a) 韓国における発生動態と国内飛来調査
  - b) 形態生理、地域性の比較
  - c) 経日的な飛翔能力の比較
  - d) 地域集団の飛翔能力の比較
  - e) 野生虫と増殖虫の飛翔能力の比較

## 海外調査概要

平成12年10月中旬に韓国で現地調査を行った。南東部の高地（智異山一帯）にオオクロバエは全く見られず、南部の海岸線でも集合する特異な行動はなく、釜山市内では腐肉トラップで通常数の誘引飛来があり、卵巣発育には様々な程度があり、これは九州本土の同時期の生理生態と同様であった。すなわち、可能性は韓国南部からではなく、さらに遠方の中国東北部あるいはシベリア由来の飛来の可能性が生じた。日本本土への飛来日本本土への飛来可能性は韓国南部からではなく、さらに遠方の中国東北部あるいはシベリア由来の飛来の可能性が生じた。

## 国内研究成果概要

1) 韓国での10月中旬の調査の結果、特に韓国南部で特定の集合群は認められず、九州北部の同時期の個体群と同様の生理的特性を示した。これは韓国南部も九州北部と同様、他地域からの飛来群を構成すると見なされた。

2) 韓国産の親集団とそのF1、および韓国産のケブカクロバエ、オビキンバエのF1系統を保存し、九州北部各地で10月中旬から経日的に腐肉トラップ採集を行い、調査個体数を確保し、それらからF1を室内飼育で得て、実験に供した。

志賀島海岸において本土上陸個体の捕獲を試みたが、最初の飛来が恐らく最初に北西の強い風があった10月11日、12日、13日頃であったため、韓国から帰った10月17日以降の調査ではすでに飛来が完了したためか、海上に上陸する個体はごくわずかで、大型捕獲ネットに入る個体はなかったが、志賀島周辺の腐肉トラップで極めて多くの雌個体が誘引され、一部の雌や多くの雄がセイタカアワダチソウ花に吸蜜する行動を確認した。10月中・下旬から九州内陸部の久留米、八女、日田にて腐肉トラップによる誘引を行った結果、10月下旬～11月上旬には卵巣発育が進んだ雌や既産卵個体が多く認め

られた。12月上旬から長崎県、鹿児島県で調査した。これらの個体の大半もすでに産卵していたが、ごく一部は産卵前の成熟卵を有した個体もいた。

その他のハエ類ではイエバエ、ヒロズキンバエ、オビキンバエ、ホオグロキンバエ、ケブカクロバエ、ゲンロクニクバエなどについて飛翔量測定を行った。これらのうち、オオクロバエやケブカクロバエのみならず、オビキンバエ、ホオグロオビキンバエにおいても連続飛翔距離が15 km を超す個体があり、消費体重率から長距離飛翔に適した性質を有することが判明した。

3) オオクロバエの飛翔量測定の結果、海外からの飛来侵入の可能性が強く示唆された。すなわち、飛来想定時期の10月中旬に採取した野生個体は、室内で増殖した卵巣未発達の個体に較べて飛翔能力（総飛翔距離、体重減少率）が著しく劣っていた。これは三枝豊平氏(九州大学)が志賀島から海面すれすれに上陸してくる個体の雌卵巣が全て未発育であることに関係する。

4) 各地域の飛翔量の差異は調査日に起因すると考えられる。これは飛来直後から以降の日齢経過に伴う栄養蓄積が飛翔能力に影響したものと見なされる。

5) 11月初め以降に順次採取したオオクロバエの雌の飛翔量を測定した結果、総飛翔距離と体重減少率が次第に上昇する傾向があり、飛来による体脂肪消費による結果であると考えられた。

6) 九州各地の雌個体の翅長、胸長には相関があり、地域によって若干の形態差のある可能性がうかがえた。これは飛翔の母集団の由来によるものか、飛翔力によるものか、さらに詳細な統計処理を待って検討したい。

7) オオクロバエ以外のクロバエ科やイエバエ科の飛翔量測定では連続飛翔をする性質がオビキンバエとホオグロオビキンバエに強く認められた。また、イエバエも予測される以上に長距離の飛翔性が

示された。断続的な飛翔はオオイエバエ、ヒロズキンバエ、ゲンロクニクバエに特徴的であり、飛翔能力は低かった。

#### D. 考察

1) 韓国での10月中旬の調査の結果、特に韓国南部で特定の集合群は認められず、九州北部の同時期の個体群と同様の生理的特性を示した。これは韓国南部も九州北部と同様、他地域からの飛来群を構成すると見なされた。

2) オオクロバエの飛翔量測定の結果、海外からの飛来侵入の可能性が強く示唆された。すなわち、飛来想定時期の10月中旬に採取した野生個体は、室内で増殖した卵巣未発達の個体に較べて飛翔能力（総飛翔距離、体重減少率）が著しく劣っていた。これは三枝豊平氏(九州大学)が志賀島から海面すれすれに上陸してくる個体の雌卵巣が全て未発育であることに関係する。

3) 各地域の飛翔量の差異は調査日に起因すると考えられる。これは飛来直後から以降の日齢経過に伴う栄養蓄積が飛翔能力に影響したものと見なされる。

4) 11月初め以降に順次採取したオオクロバエの雌の飛翔量を測定した結果、総飛翔距離と体重減少率が次第に上昇する傾向があり、飛来による体脂肪消費による結果であると考えられた。

5) 九州各地の雌個体の翅長、胸長には相関があり、地域によって若干の形態差のある可能性がうかがえた。これは飛翔の母集団の由来によるものか、飛翔力によるものか、詳細な統計処理を待って検討したい。

6) オオクロバエ以外のクロバエ科やイエバエ科の飛翔量測定では連続飛翔をする性質がオビキンバエ、ホオグロオビキンバエに認められた。断続的な飛翔特性はオオイエバエ、ヒロズキンバエ、ゲンロクニクバエに認められた。

7) 飛翔速度や連続飛翔距離については今後解析を行う。

## E. 結論

疾病媒介性のハエ類が国外から飛来侵入し、国内で移動分散する潜在的飛翔能力を磁気浮上型の飛翔測定装置（フライトミル）を用いて実験的に測定し、その移動分散の範囲を予測する基本的な研究手法がこの研究によって確立された。この測定装置に基づいて、日本および韓国産のハエ類のなかで、イエバエ科のイエバエ、オオイエバエ、クロバエ科のヒロズキンバエ、ホホグロキンバエ、オビキンバエ、オオクロバエ、ケブカクロバエ、ニクバエ科のゲンロクニクバエの計8種の飛翔能力を実験的に測定した結果、種固有の飛翔特性が客観的に把握された。飛翔能力として得られた、成虫の飛翔時間、飛翔距離、飛翔速度、休止時間から、その飛翔行動の持続性や速度の特性が保有する飛翔エネルギーの容量や飛翔行動の内因的性質が理解された。また、飛翔能力の予測形質として得られた成虫の体重、翅長、胸長、および飛翔前後の体重差による体重減少率からも種固有の生理的、形態的に効率的な飛翔の特性が判断された。

具体的にはフライトミル測定によって特定のハエ類に長距離、長時間の連続飛来をする種と、短距離で断続的な飛翔をする種の性質が明瞭に区別された。長距離飛翔をした種にはイエバエ科ではイエバエ、クロバエ科ではオオクロバエのみならず、オビキンバエ、ホホグロオビキン、ケブカクロバエに認められ、これらの最大連続飛翔時間と最大連続飛翔距離はそれぞれイエバエ（3.53 h, 9.32 km）オビキンバエ（4.56 h, 18.22 km）、ホホグロオビキン（3.49 h, 15.07 km）、ケブカクロバエ（7.82h, 30.34 km）に達した。また、これまで長距離移動の可能性が明らかになっているオオクロバエが実験条件下でも顕著な長距離、長時間連続飛翔を示した。その最大飛翔値は平戸産の野生虫で10.54 h, 48.40 km の連

続飛翔値を示した。一方、ニクバエ科のゲンロクニクバエやイエバエ科のオオイエバエ、クロバエ科のヒロズキンバエはともに断続的で短距離の飛翔性を示した。

飛翔形質として測定した飛翔後の体重減少率はその減少率の大きさから、オビキンバエ、ホホグロオビキン、ケブカクロバエ、オオクロバエの成体の保有する飛翔エネルギー能の高さを反映した。オオクロバエの野生個体では飛翔後の体重減少率が飛翔前の45%の減少率を超える個体もあり、飛翔未経験の室内増殖個体では58%に達する減少率を示す個体があった。

オオクロバエの日本、韓国の各地域集団の翅長、胸長を比較し、またこれらの形質と飛翔能力と対応した結果、やや地域的な傾向が認められた。これは従来から推測されてきたオオクロバエの国外からの飛来侵入を示唆する根拠になると考えられる。体サイズの差は国内へ飛来分散する集団が到達距離に比例した結果であることや、10月中旬に飛翔実験に供試された韓国、福岡、久留米のオオクロバエ集団の飛翔能力が著しく低く、11月～1月の他の地域や同地域の野生集団の飛翔量とは明らかな違いが認められることは、秋口の供試個体が日本に飛来した直後の長距離飛翔経験を示すものと考えられる。また韓国の供試虫の同様の性質は、韓半島のオオクロバエ集団も他地域から飛来したものと判断された。

## F. 研究危険情報

なし

## G. 研究発表

なし

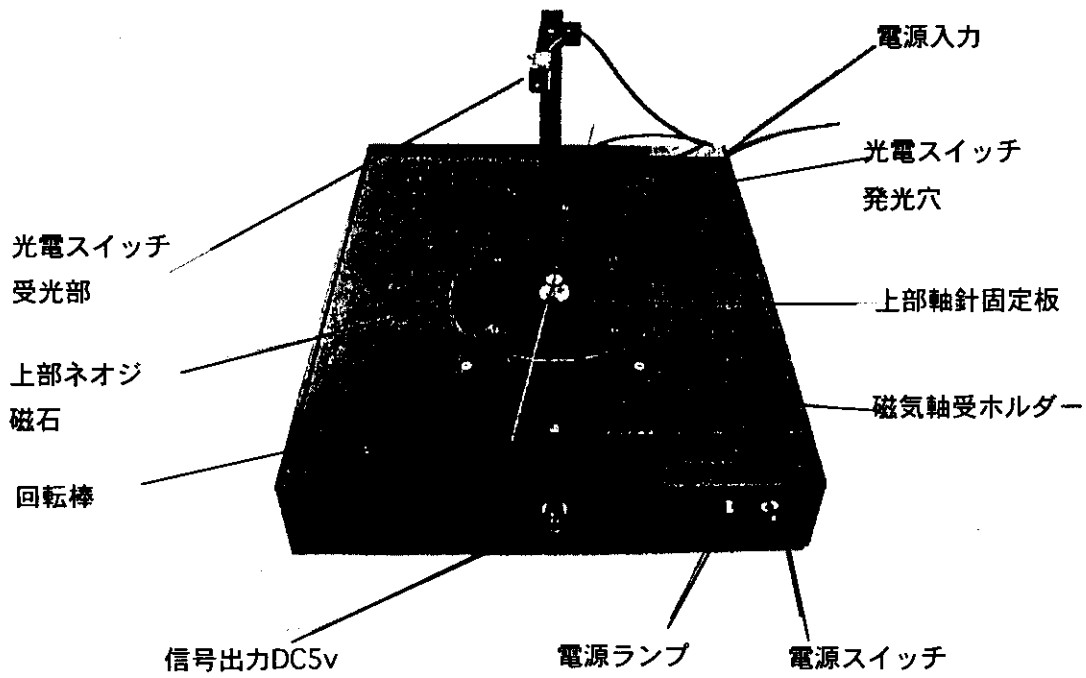


図1 磁気浮上式飛翔測定装置  
(フライトミル)

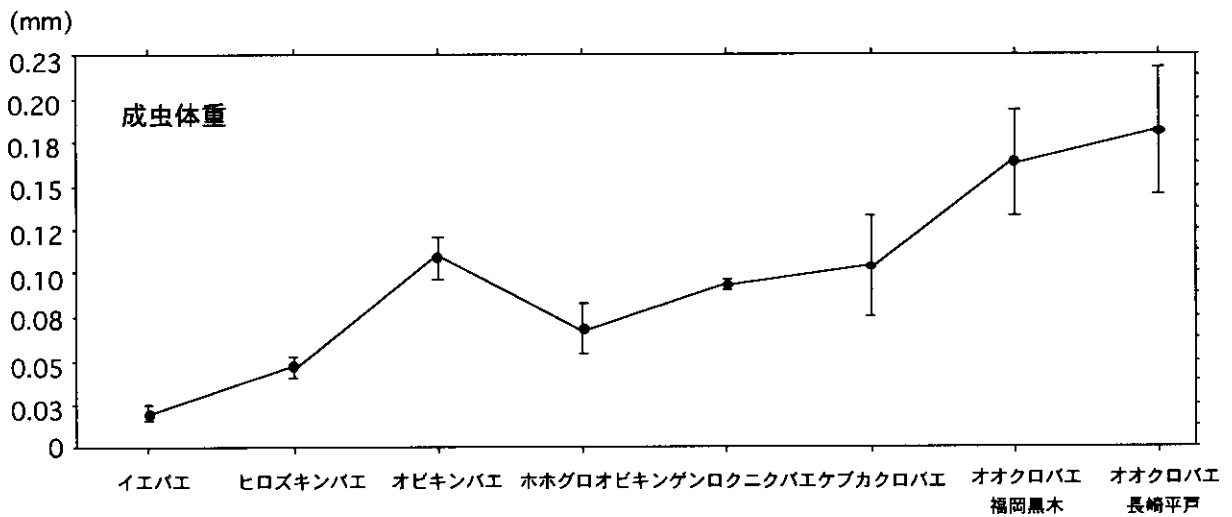


図2 各種ハエ類の飛翔形質の比較  
飛翔前平均体重

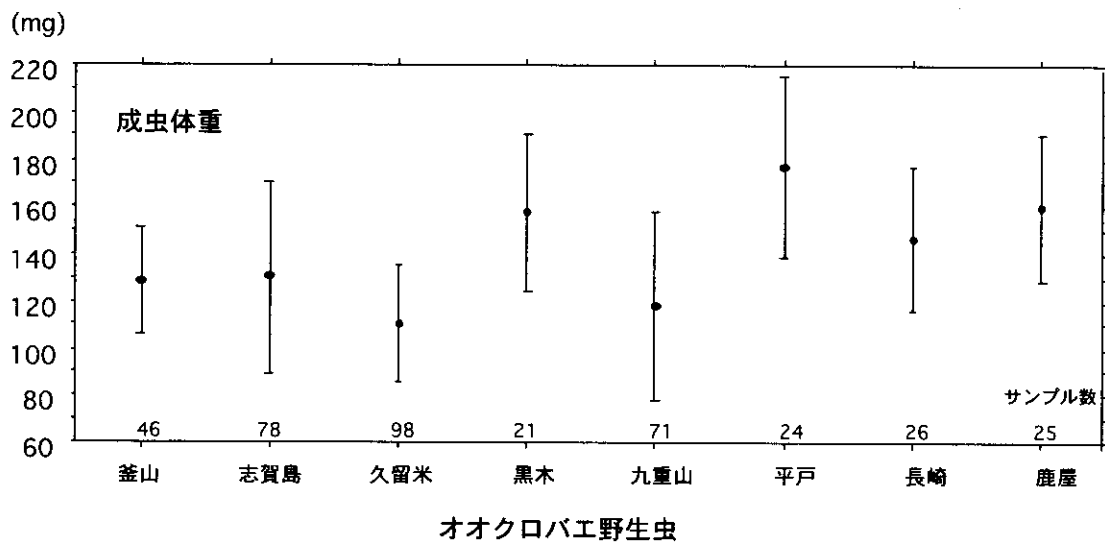


図3 各地オオクロバエ雌の飛行形質の比較  
飛行前平均体重

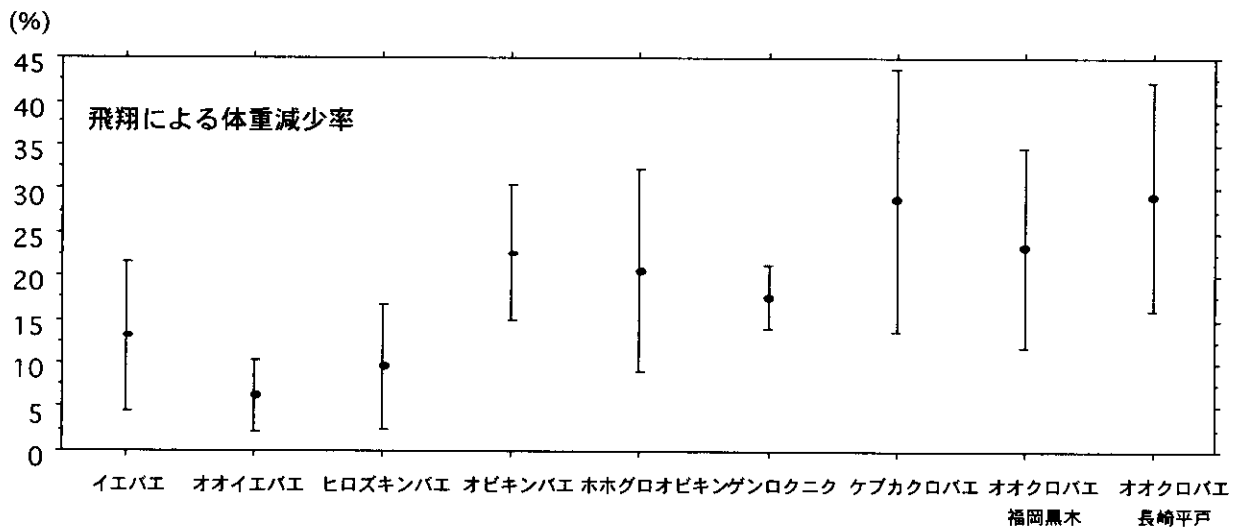


図4 各種ハエ類のフライトミル飛行による飛行能力の比較  
飛行後体重減少率

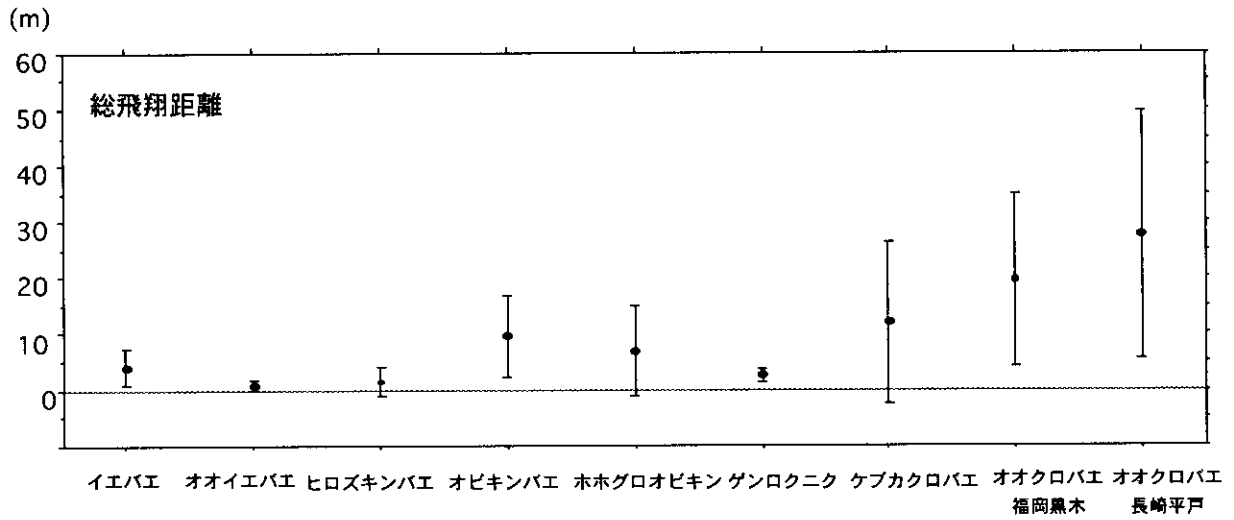


図5 各種ハエ類のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
総飛翔距離

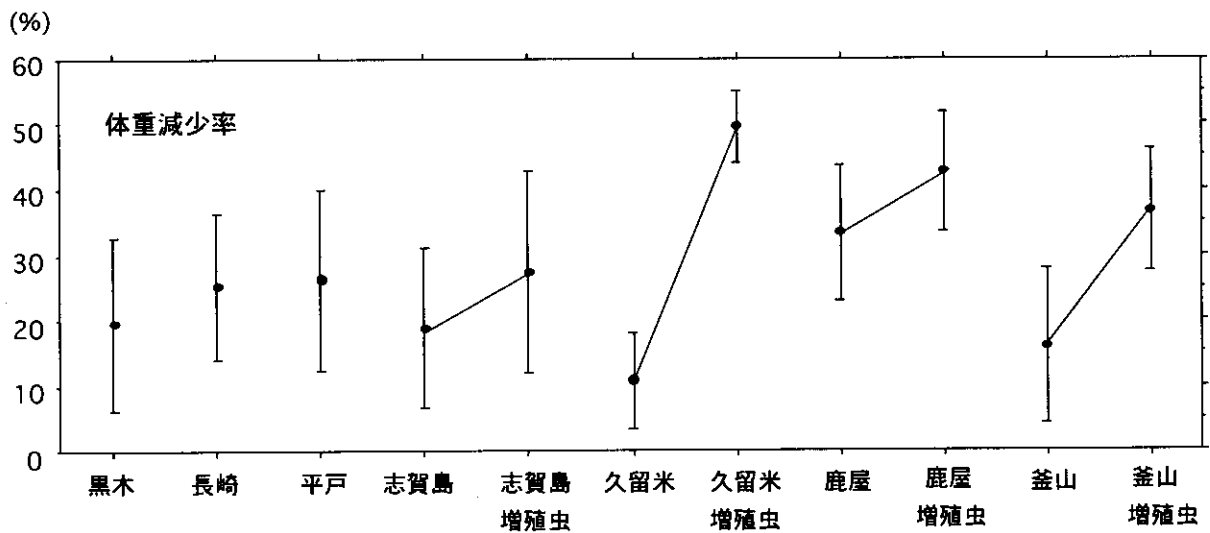


図6 各地オオクロバエ雌のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
飛翔後体重減少率



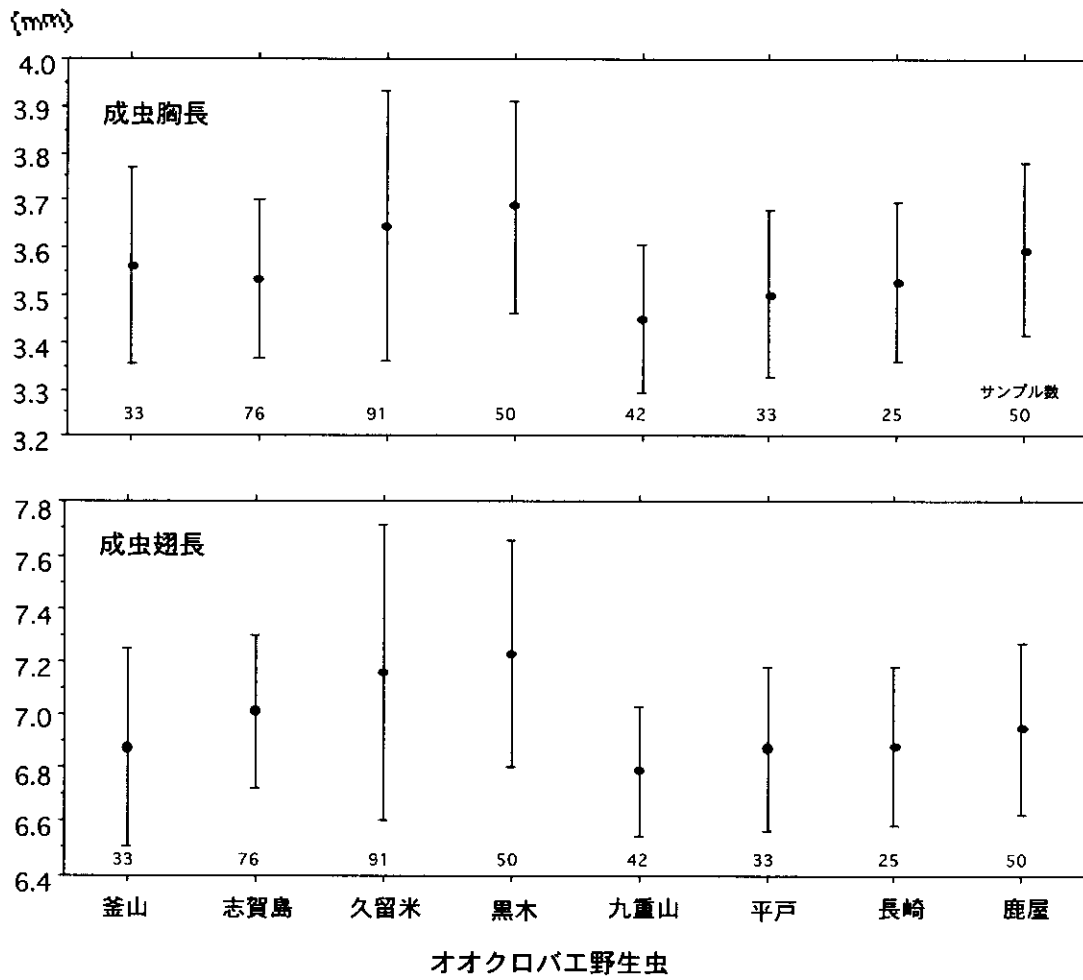


図7 各地オオクロバエ雌成虫の飛翔形質の比較  
胸部長と翅長

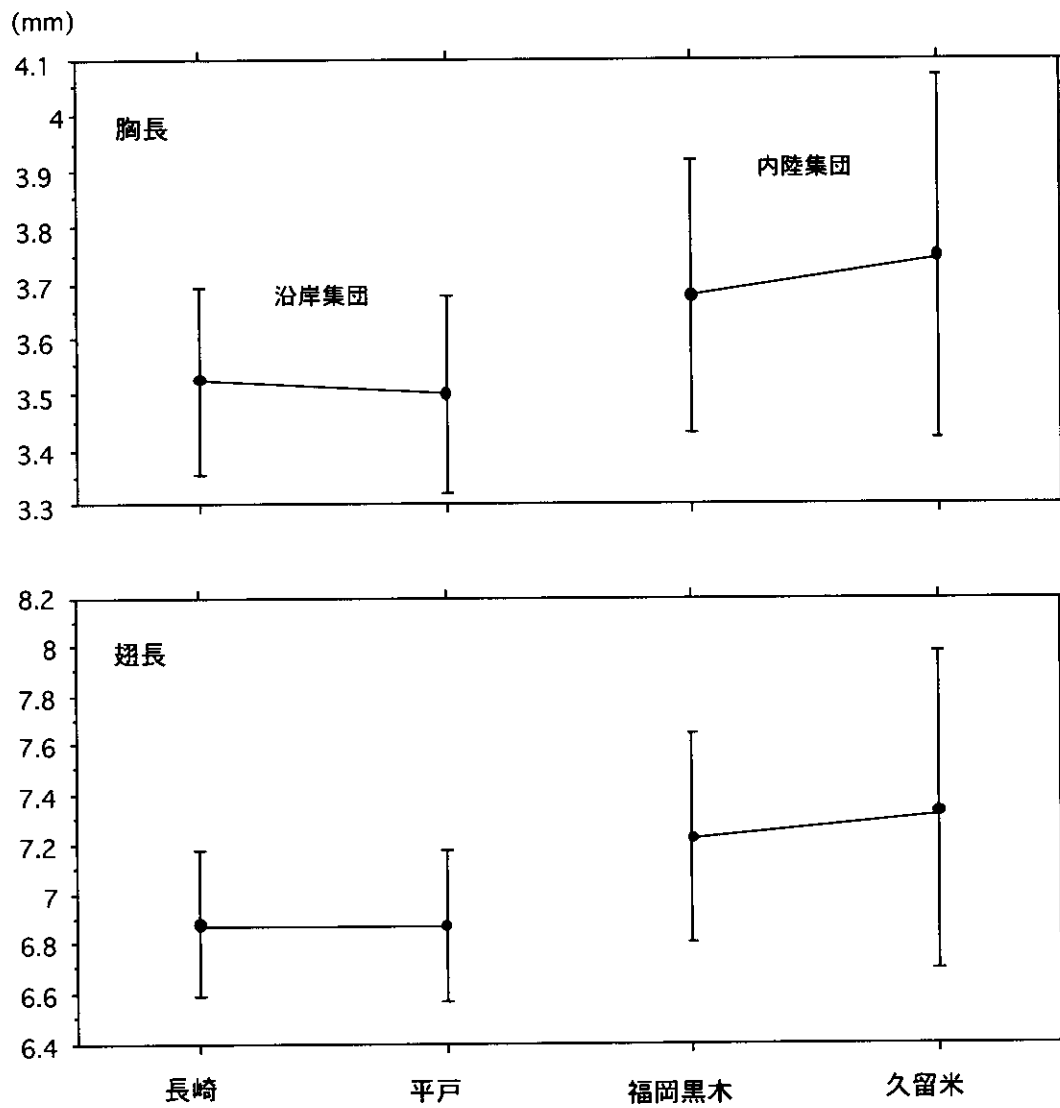


図8 飛来地別による成虫雌の形質比較

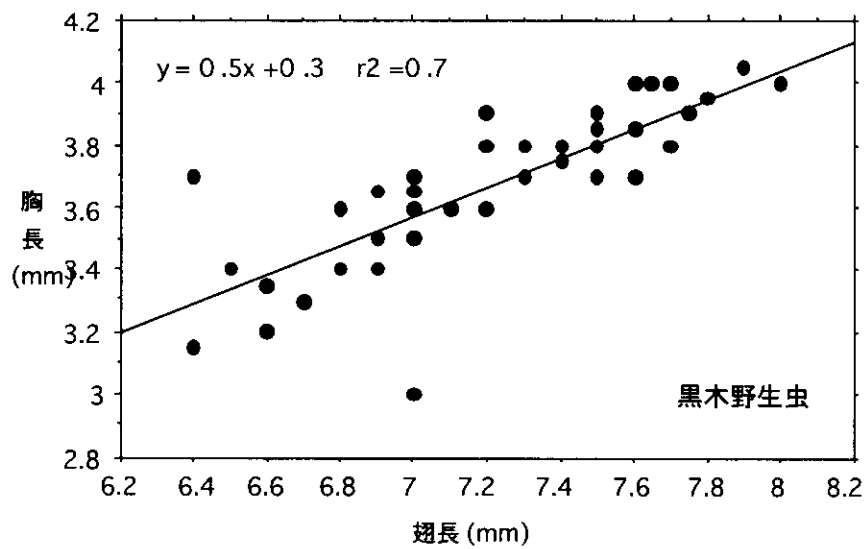
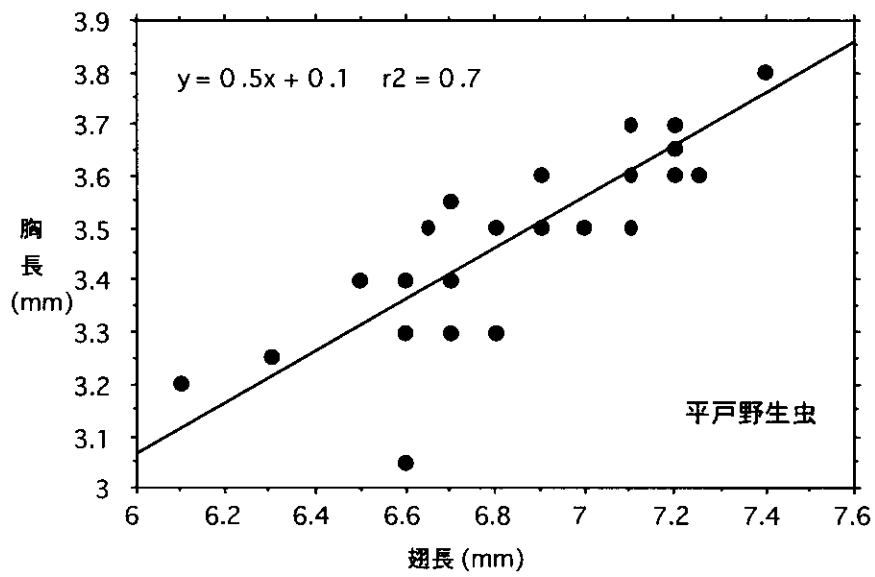
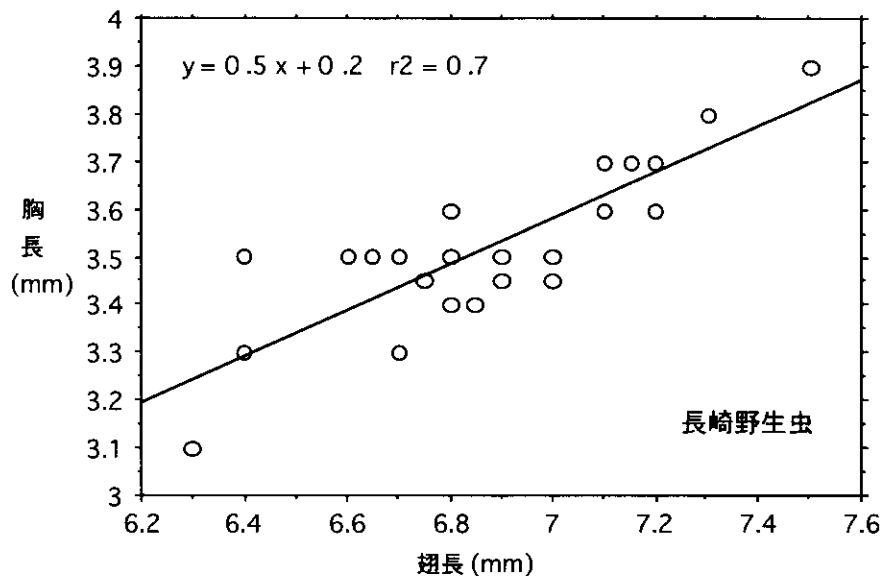
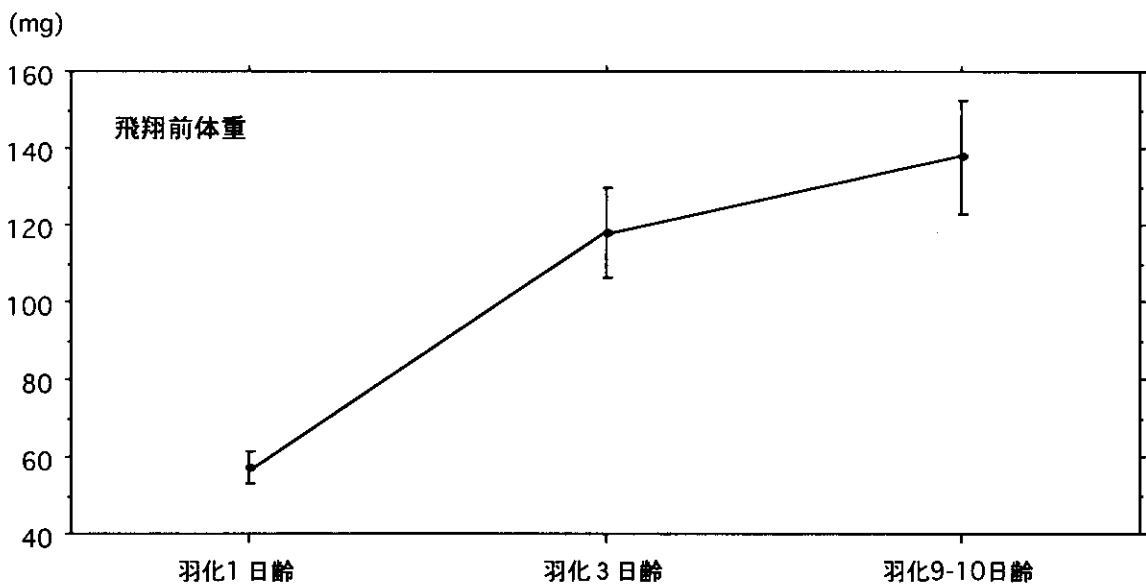
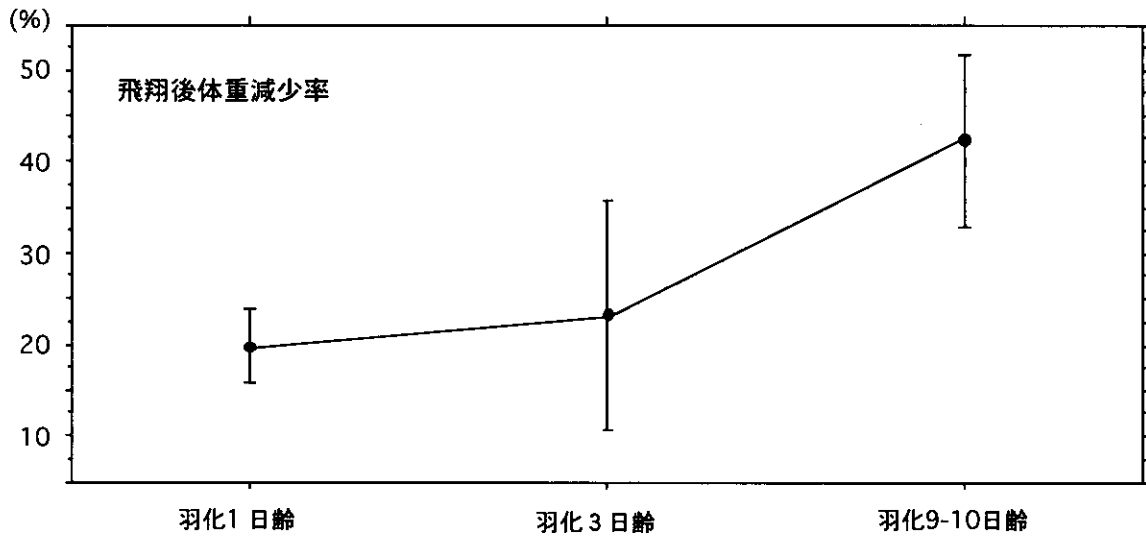


図9 オオクロバエ雌の胸長と翅長の相関関係



オオクロバエ (鹿屋産増殖虫)

図10 羽化後日齢による体重変化と飛行能力 (体重減少率)

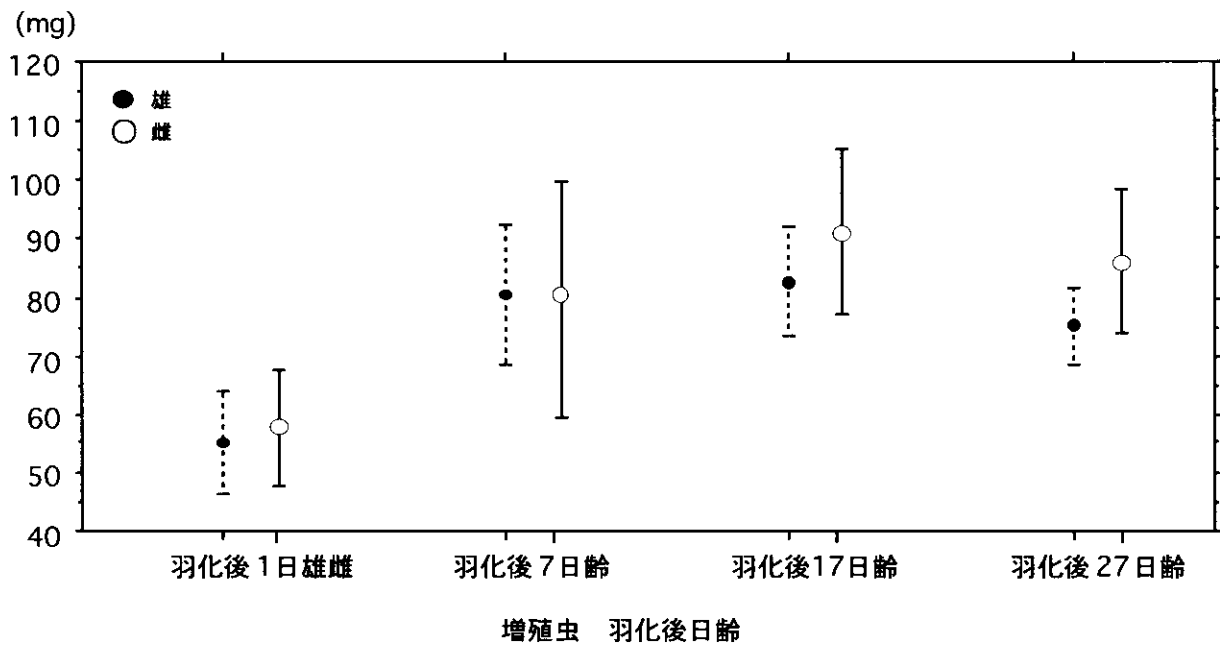


図11 羽化後日齢による志賀島オオクロバエ増殖虫の成虫の体重変化

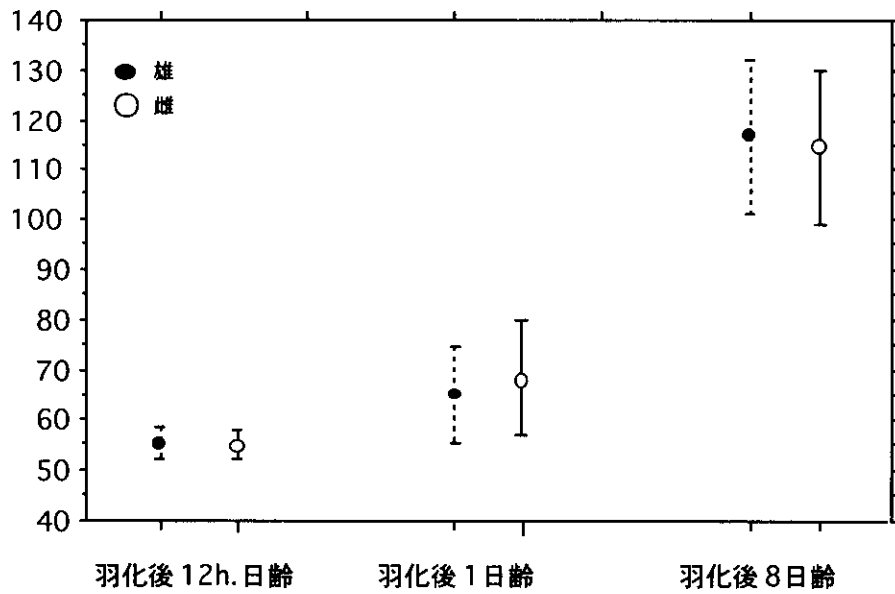


図12 羽化後日齢による鹿屋産オオクロバエ増殖虫の成虫の体重変化

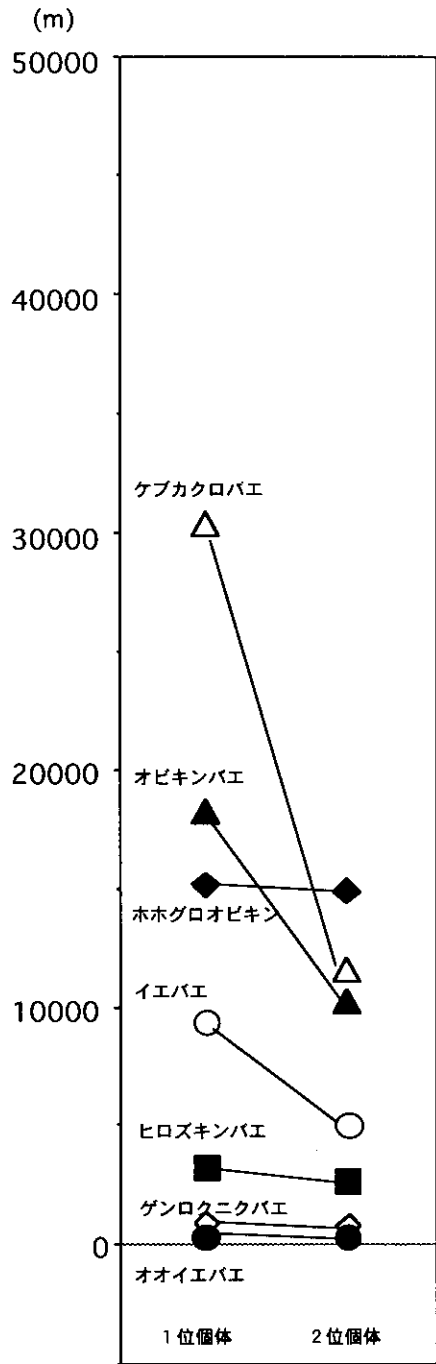


図13 各種ハエ類の  
最長連続飛翔距離上位2個体

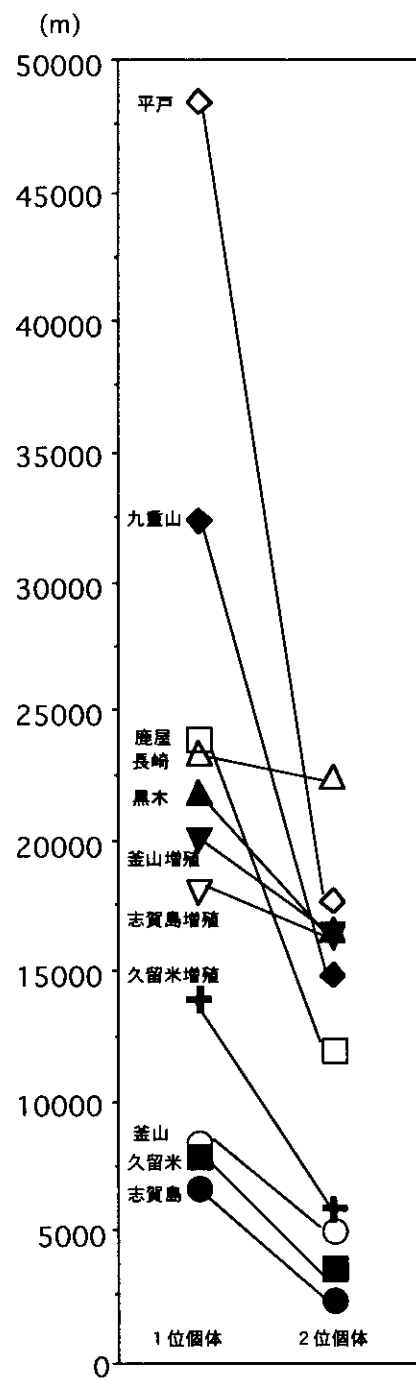


図14 各地オオクロバエの  
最長連続飛翔距離上位2個体

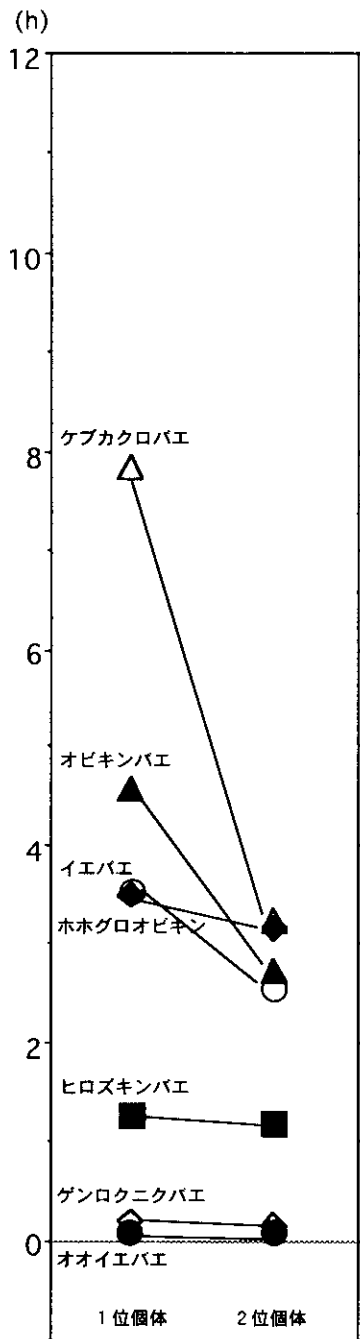


図15 各種ハエ類の  
最長連続飛行時間上位2個体

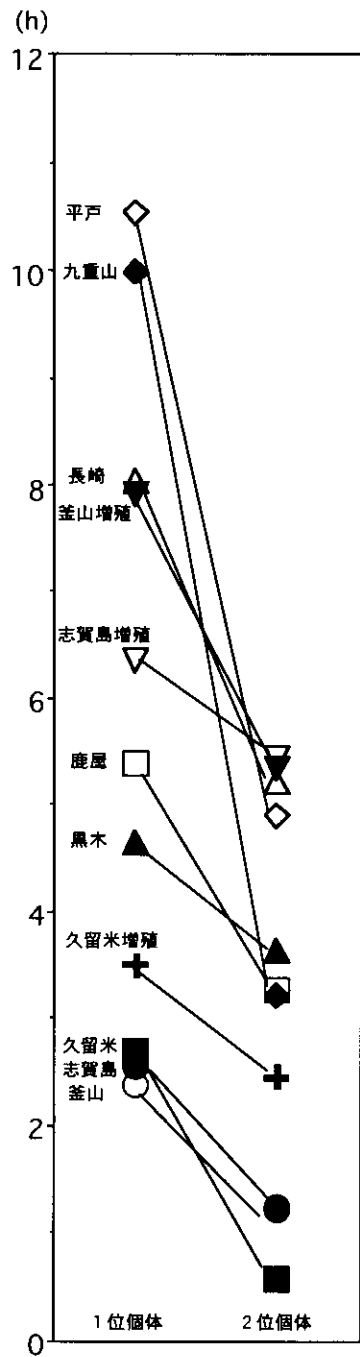


図16 各地オオクロバエの  
最長連続飛行時間上位2個体

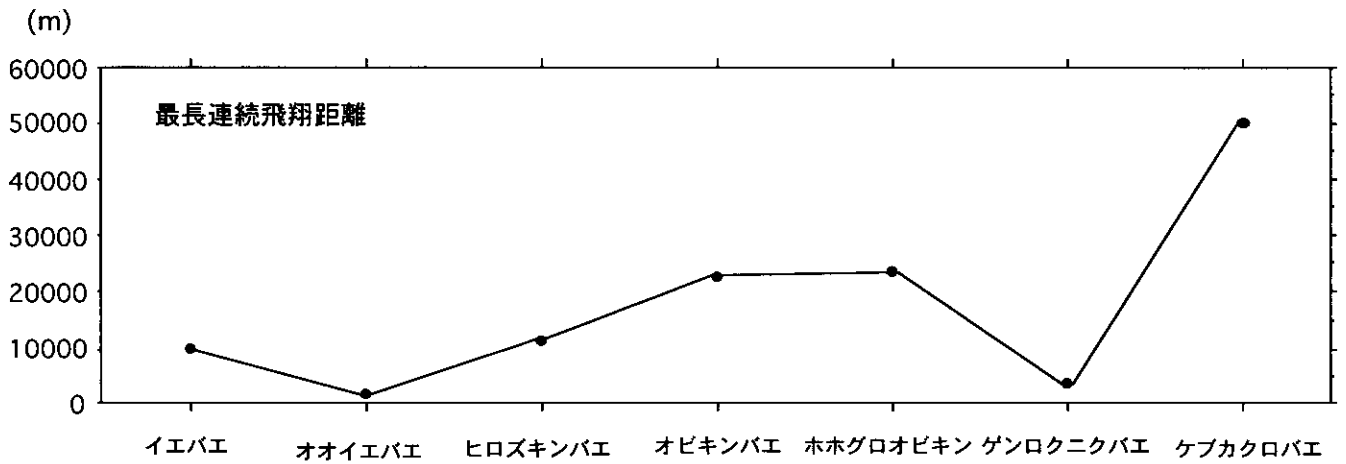


図17 各種雌ハエ類のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
最長連続飛行距離

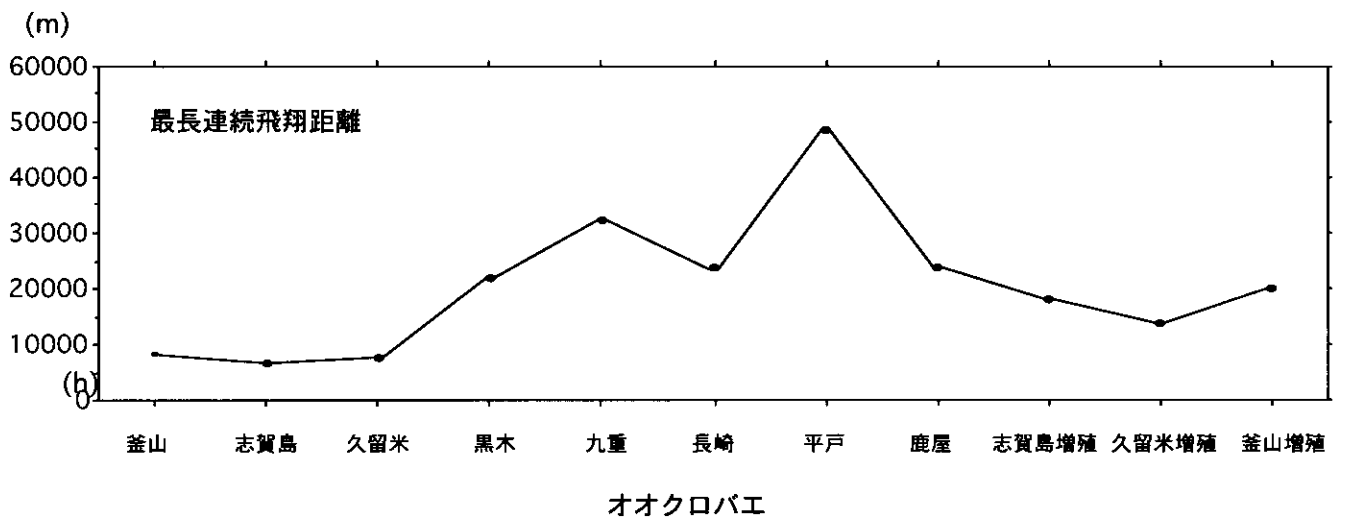


図18 各地オオクロバエ雌のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
最長連続飛行距離



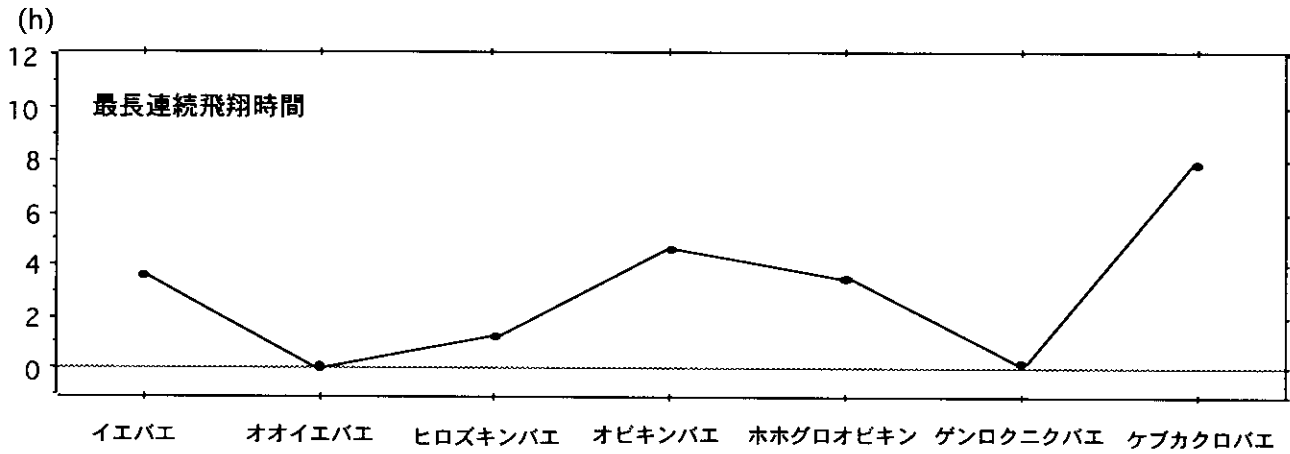


図19 各種ハエ類雌のフライトミル飛行による飛行能力の比較  
最長連続飛行時間

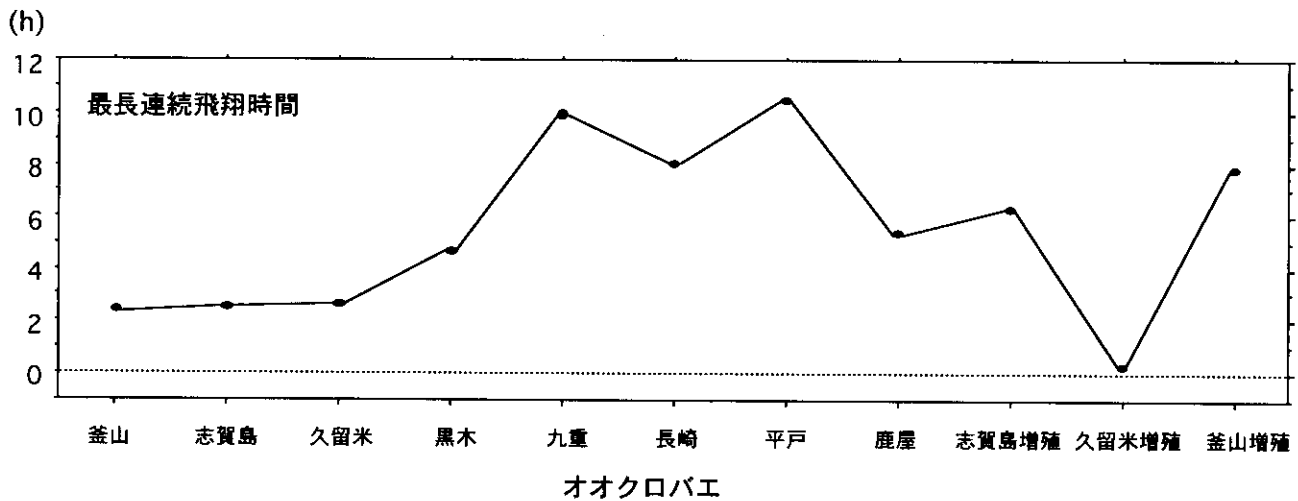


図20 各地オオクロバエ雌のフライトミル飛行による飛行能力の比較  
最長連続飛行時間

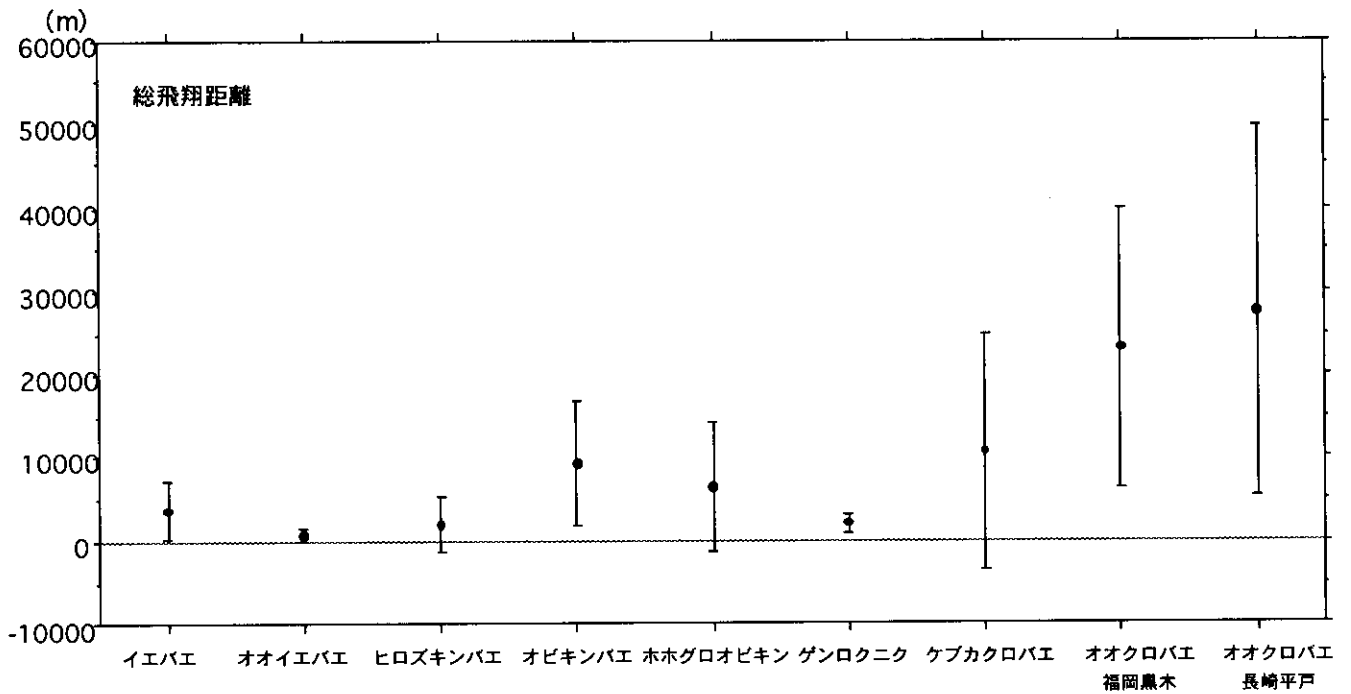


図21 各種ハエ類雌のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
総飛翔距離

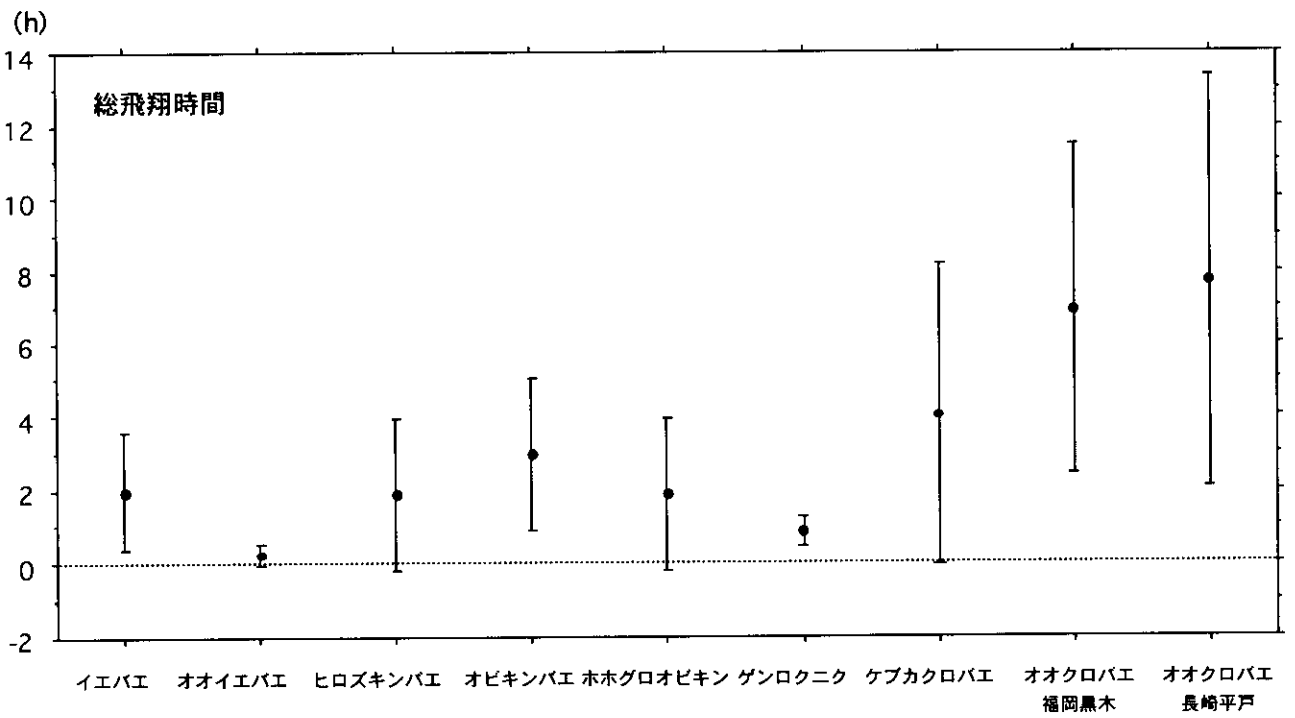


図22 各地オオクロバエ雌のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
総飛翔時間

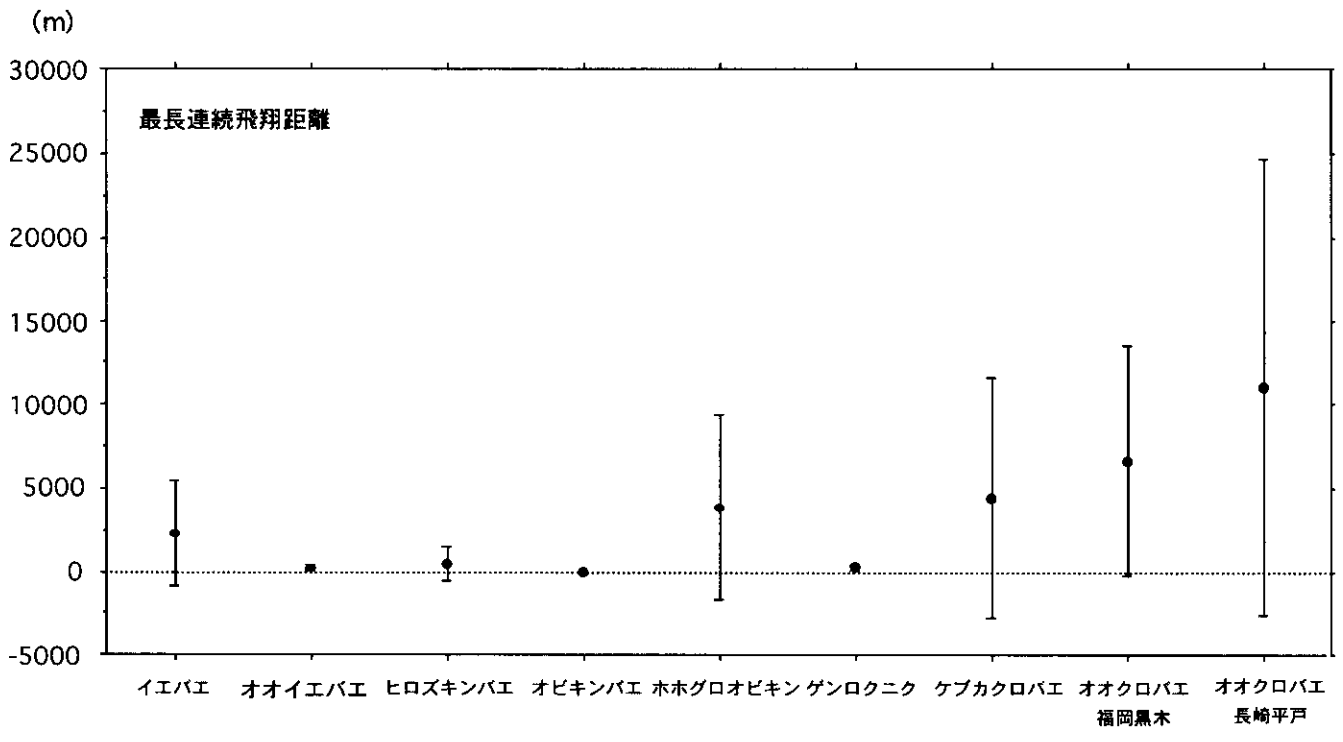


図23 各種ハエ類雌のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
最長連続飛翔距離

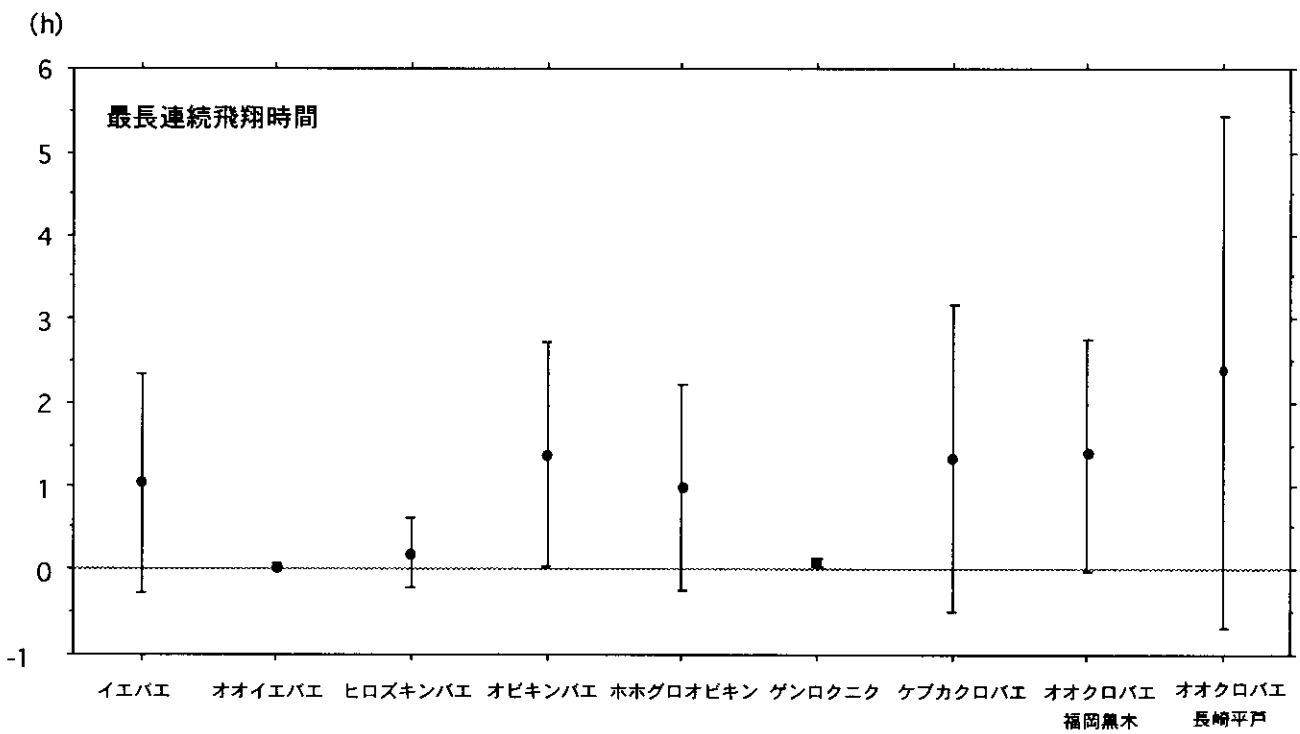


図24 各種ハエ類雌のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
最長連続飛翔時間

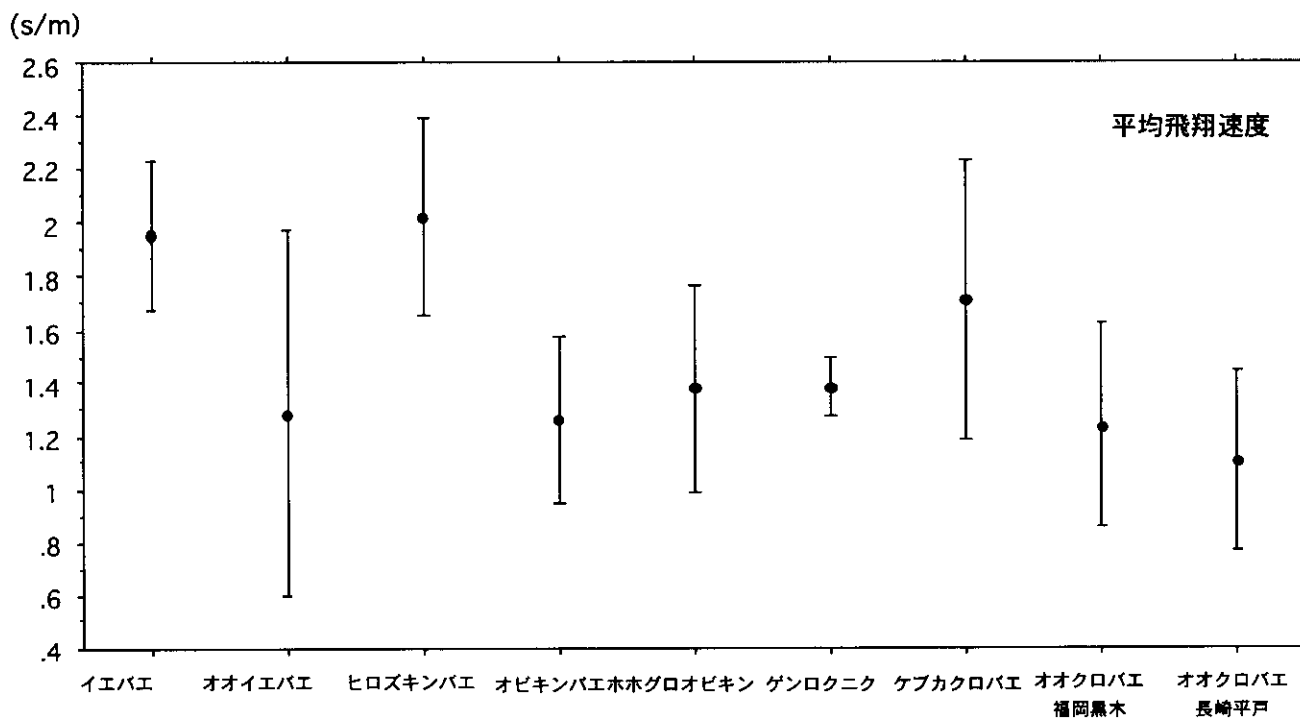


図25 各種ハエ類雌のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
平均飛翔速度

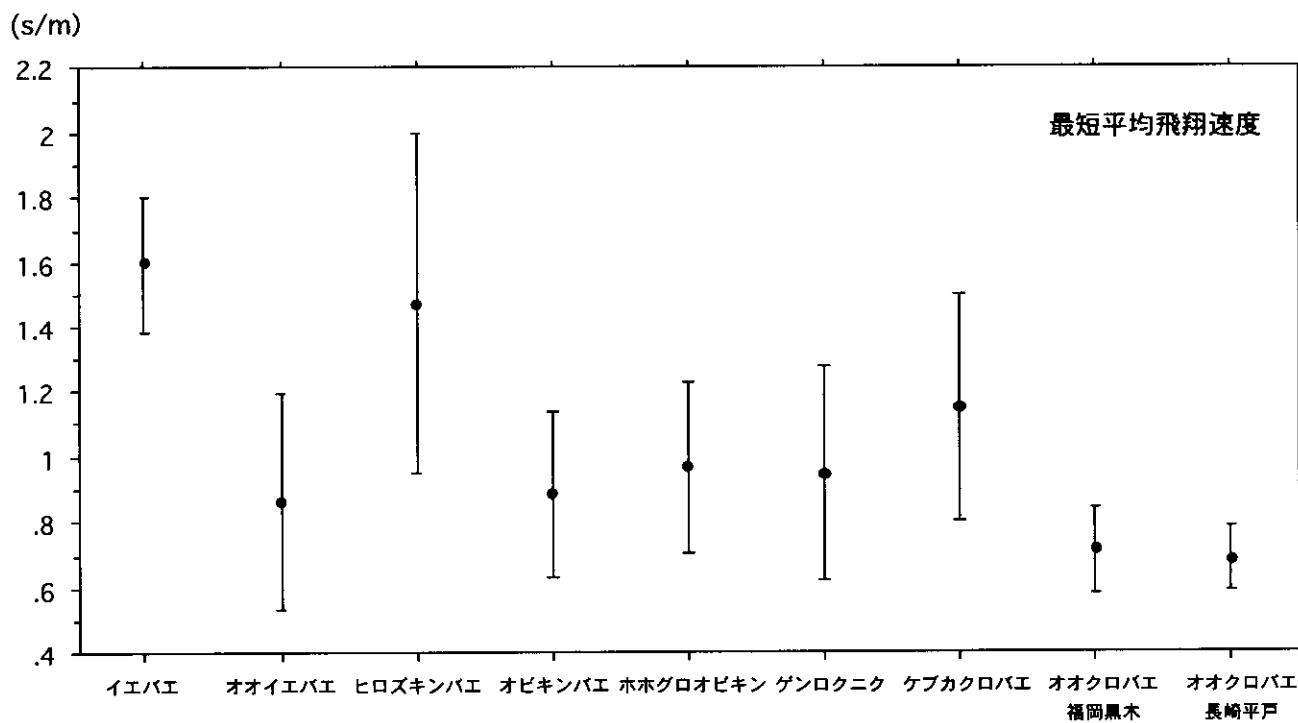


図26 各種ハエ類雌のフライトミル飛翔による飛翔能力の比較  
最短平均飛翔速度