

表3. 各国のヒトスジシマカのITSの塩基数とそのGC比

国名	性別	個体番号	ITS 1	ITS 2	総塩基数 (最小-最大)	GC比		
						ITS 1	ITS 2	総塩基数
ラオス								
(ルアンプラバン)								
	♂	ALG4-1	429	404	833	0.59	0.581	0.582
	♂	ALG4-2	429	404	833	0.59	0.581	0.583
	♂	ALG6-1	431	403	834	0.59	0.586	0.586
	♂	ALG6-2	427			0.59		
	♂	ALG7-6	429	398	827	0.59	0.576	0.581
	♂	ALG7-8	427	399	826	0.59	0.581	0.583
(826-834)								
マレーシア								
(クワラルンプール)								
	♂	AMG1-1	429	402	831	0.59	0.581	0.583
	♂	AMG9-3	428	403	831	0.59	0.586	0.587
	♂	AMG9-5	428	398	826	0.59	0.576	0.582
	♂	AMG14-16*						
(826-831)								
インドネシア								
(スラバヤ)								
	♂	ASG2-3	434	402	836	0.59	0.581	0.583
	♂	ASG2-4	426	397	823	0.59	0.576	0.581
	♂	ASG3-6	433	397	830	0.59	0.576	0.580
	♂	ASG3-12	426	397	823	0.59	0.576	0.580
	♂	ASG4-3*						
(823-830)								
沖縄								
	♂		427	406	833	0.59	0.584	0.586

*DNAの分析は行ったが、結果が悪く、最終的に解析をすることができなかった。

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

感染症媒介性の蚊類の移動分散能力を固定飛行による実験的な基礎データによって推定する試みを行った。微少な蚊類の飛行量を多数個体について正確に長時間測定する電子装置を開発した。この強力磁性体の反発力を利用して回転軸の摩擦ロスを著しく軽減した磁気浮上式のフライトミル測定装置を用いて、九州の温暖地に生息するハマダラカ類、イエカ類、ヤブカ類などの9種類の雌成虫94個体について、飛行前後の体重変化や総飛行距離、総飛行時間、総飛行速度、最長連続飛行距離、最長連続飛行時間、最長連続飛行速度などの飛行に関わる物理変量を比較解析した。また、吸血虫と非吸血虫の生理的違いが飛行能力に及ぼす関係を比較し、これまで推測の域を出なかった飛行速度や到達距離を客観的に推定し、将来的に国内に飛来侵入する衛生上重要な蚊類の移動分散に対処する基礎的なデータを取得した。その結果、ハマダラカ属の飛行分散力は弱く、推定最大到達距離はシナハマダラカが1.3km、オオハマダラカは約0.79kmであった。ヤブカ類の飛行力はやや大きく、トウゴウヤブカが2.88km、ヒトスジシマカは約4.0kmと予測された。ヤマトヤブカは約4.4km～11.7kmの高い分散距離が推定された。オオクロヤブカの飛行力は最も大きく、約17.6kmの最大到達距離が推定された。一方、イエカ類の飛行力は弱く、日本脳炎媒介虫のアカイエカは約2.0kmと推定された。ヒト吸血性のないヤマトクシヒゲカやクロツノフサカの飛行力は小さかった。推定された飛行分散能力は蚊の飛行速度ではなく、飛行の距離や持続時間の要素に有意な相関があった。

ハエ類の調査では、国外からの飛来侵入の可能性が高いオオクロバエとオビキンバエの野生虫や室内増殖虫の季節的な飛行能力を測定した結果、この2種は他のハエ類と比較して飛行能力に明らかに季節による生理的な差が現れ、その後の定住による生活が飛行能力に影響していることから、明らかに秋期に他の地域から飛来する個体群である可能性が強く示唆された。

A. 研究目的

病原媒介性の昆虫の潜在的飛行能力を推定し、我が国に飛来侵入した時、その移動分散の範囲を予測すれば病気の予防と防除の対策になるだろう。わが国の地理的特殊性からシベリア大陸や東南アジア諸国から自然的に飛来する昆虫は数多く、また人為的要因によっても侵入の機会が増えている。ここで、日本脳炎、マラリア、デング熱等の感染症媒介虫である蚊類の移動分散能力を明らかにし、地球温暖化傾向に伴い国内へ適応的に分散して繁殖を拡大する可能性に備えることは新興・再興感染症の防疫対策を講

じる上で重要と思われる。わが国へ飛来侵入する病原媒介性のカ類やハエ類の侵入経路や、国内で移動分散する範囲を知ることは、重要であるにもかかわらず、これら微少の昆虫の飛来経路や、国内での移動分散の範囲を予測することは容易ではない。腸管出血性大腸菌 O157 の感染媒介者の可能性を持つオオクロバエやオビキンバエなどの各種有弁類ハエ類や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性の蚊類がわが国で発見される事例が増えている。この状況は必ずしも自然偶発的、あるいは

全く人為的な要因によるもと限定せず、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や吸血性の蚊をうまく利用することにより、遺伝子を効率的に拡大する戦略を持つ可能性も考慮すべきと思われる。生物生態系のなかで、仕組まれた微生物と昆虫との相互関係を、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研究することも重要だと考える。

現実的にはマラリアやデング熱などの人体感染症を媒介する熱帯産の蚊類が人為的な経路で空港、港湾で捕捉される事例が明らかになり、また温暖化傾向と言われるなかで、南方起原の昆虫が北進している状況も明らかにされている。蚊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ため、空港や港湾周囲で一時的に繁殖した集団が移動分散する能力の予測は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。

大腸菌 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、各種の蚊類についても、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。

B. 研究方法

調査対象の種類 本年度は吸血蚊類の飛翔能力を予備調査として行い、併せて前年度の調査で高い飛翔力が注目されたオオクロバエとケバクロバエの野生虫と増殖虫について、季節による飛翔能力の観点から追加調査を行った。

1) 蚊類の調査

次の表1に示すように、マラリア媒介性のシナハマダラカ、オオハマダラカ、デング熱や黄熱病媒介性のヒトスジシマカ、フィラリア病媒介性のアカイエカ、トウゴウヤブカを中心に、他のヒト非吸血性の蚊類も比較データとして調査した。実験に用いた成虫蚊は、卵や幼虫を野外で採取し、室内条件で繁殖して成虫を供試した。飛翔実験では、まず蚊をCO₂で瞬時的に麻酔し、低温度溶解性のデンタル・インレイワックス微量を微針頭につけ、これを電熱線を経由して溶解して蚊成虫の胸背部中央にて固着させた。この方法は蚊の飛翔筋に温熱や接着剤の悪影響を与えない最も安定した方法であることを確認している。微針で虫体をワックスで固定した状態の蚊を図1に示した。

2) 調査地域

調査した蚊は福岡県久留米市、佐賀市、熊本県水俣市、八代市、鹿児島県の出水市、薩摩郡、指宿市、枕崎市、鹿屋市、肝属郡田代町、沖縄県石垣市、八重山郡西表島の水系で採集した幼虫である。なおマラリア媒介虫のオオハマダラカは琉球大学（富間博士）の実験システムを用いた。

表 1 供試蚊類の種名

- 1) シナハマダラカ
Anopheles (Anopheles) sinensis Wiedemann
- 2) オオハマダラカ
Anopheles (Anopheles) saperoi Bohart et Ingram
- 3) ヒトスジシマカ
Aedes (Stegomyia) albopictus (Skuse)
- 4) トウゴウヤブカ
Aedes (Finlaya) togoi (Theobald)
- 5) ヤマトヤブカ
Aedes (Finlaya) japonicus (Theobald)
- 6) オオクロヤブカ
Armigeres (Armigeres) subalbatus (Coquillett)
- 7) アカイエカ
Culex (Culex) pipiens pallens Coquillett
- 8) ヤマトクシヒゲカ
Culex (Culicom yia) sasai Kano et al.
- 9) クロツノフサカ
Culex (Lophoceraomyia) minor (Leicester)

2) 飛翔測定装置

微少な蚊類の飛翔能力の測定には、平成 11 年度に製作した、大型ハエ類の飛翔実験に用いた装置では測定できなかつたので、新たに体重 1 mg 前後の微少な虫体の外力にも応答するよう、心軸と回転棒の構成と機構の改善を行って、新たに 4 セットの装置を製作した。また、飛翔の速度や距離の持続性や休止の動態を 1 台の CPU 装置上で同時に 2 台のフライトミル装置を電子制御で測定し、LabBiew 開発プログラムによって時間測定した。測定装置の概略は図 2 と図 3 に示した。蚊を釣り下げたフライトミルの回転棒がセンサーを遮断する時に生じる時間変量を回転棒の幅 0.7mm の瞬時の横断のタイム

イベントを 0.5mm 光束のレーザー発光と受光センサーで検出し、デジタル信号に変換し、専用計測 DAQ ボード、ホットカプラー、および入出力モジュールによってデジタル変換信号とし、高速演算処理する 1 MHz の CPU を介して計測し、データを格納した後、Excel のマクロ演算でルーチン化して統計解析した。

3) 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学的性質によって、特に配慮する必要はなかつた。

C. 研究結果

飛翔量の測定は、感染病媒介性の高い蚊類を中心に行い、また前年度の研究に関わる他の衛生ハエ類の飛翔力データを追試して下記の 1) と 2) のような結果を得た。測定結果は表 2～17 のデータ表に種ごとの個体数値をリストした。また、考察結果は付図集として図 4～29 に示した。

1) 蚊類の実験結果の概要

飛翔実験に用いた 9 種類の蚊は過去に行われてきた標識放飼再捕獲法によって得られた分散距離と比較して、より大きな飛翔距離を示した。

総飛翔時間（休止時間を除く総飛翔実行時間の合計）の平均値は平地性のシナハマダラカで約 40 分、森林溪流性のオオハマダラカで約 24 分であったが、ヒトスジシマカやトウゴウヤブカではいずれも約 50 分を超えた。ヤブカ類でもヤマトヤブカの西表島産は約 109 分の飛翔を示した。最も長い飛翔はオオクロヤブカに認められ、平均値が約 258 分、最大個体は約 578 分 (9.6h) に及んだ。アカイエカは 30 分で、ヒトスジシマカの約半分であった。

総飛行距離は総飛行時間に関係し、同じくオオクロヤブカが 6.99km の最大の平均値を示した。平均値で他に 1km を超えた種は西表島産のヤマトヤブカとヤマトクシヒゲカがあった。平均値は著しく飛ばない個体に影響されるので、最大総飛行距離で見ると、シナハマダラカ(1,193m)、オオハマダラカ(793.3m)、ヒトスジシマカ(2,014.5m)、トウゴウヤブカ(2,690m)、ヤマトヤブカ鹿屋産(2,207.5m)、ヤマトヤブカ西表島産(8,092.8m)、オオクロヤブカ(17,647m)、アカイエカ(1,953.6m)、ヤマトクシヒゲカ(3,669.3m)、クロツノフサカ(1,624.8m)のように、平均値を大きく超えた数値が示された。

飛行能力は連続飛行距離と連続飛行時間で最も単純に表される。図 7 に示すように、最大連続飛行時間の平均値はオオクロヤブカで最も大きく、約 184.3 分 (3h) で、最大値個体は 396.5 分 (6.6h) の驚くべき連続飛行を示した。30 分以上の平均連続飛行時間を示した種はほかにシナハマダラカとヤマトヤブカがあった。ヒトスジシマカは 22.9 分、トウゴウヤブカは 26.9 分、アカイエカは 10.6 分の平均値を示した。

最大連続飛行距離の平均値はオオクロヤブカが約 5.63km、ヤマトヤブカ西表島産が約 1.2km を示し、他の種はトウゴウヤブカを除いて 500m 以下であった。個体別ではオオクロヤブカに 14.13km の連続飛行距離の例があり、シナハマダラカやアカイエカでも個体によっては 1km を超えたものがあった。全体的にオオハマダラカ、アカイエカ、ヒトスジシマカの連続飛行性は弱かった。

雌蚊は栄養生理的に吸血後に飛行能力が高まることが知られている。吸血後の飛行と非吸血虫の飛行を個体別にオオクロヤブカとアカイエ

カについて比較した。図 15 に示すようにアカイエカには差はなく、オオクロヤブカの方に顕著な差が認められた。図 16 に示すように、総飛行時間、総飛行距離、最大連続飛行距離は著しく増加し、総飛行平均速度は短縮するようであるが、ノンパラメトリック検定では統計学的には有意性は認められなかった。

図 17 に平均飛行速度、平均飛行時間、最大飛行速度、最大飛行時間の飛行特性から、固定飛行条件での平均到達距離と最大到達距離を推定した。最大到達距離を見ると、オオクロヤブカが 17.6km と顕著に高い値を示した。ハマダラカ属は比較的距離が短く、オオハマダラカでは 794m、シナハマダラカでは 1,338m と短かったが、その他のいずれの種も 2km を超える範囲を示した。ヒトスジシマカやヤマトヤブカでは 4km を超える範囲を示した。

2) ハエ類の実験結果の概要

平成 12 年度にその飛行能力の大きさが明らかにされたクロバエ科のオオクロバエとオビキンバエについて、野生虫と増殖虫を比較検討した。日本で秋に急激に個体数が増加する現象を解明するために、福岡県志賀島で秋と春に肉トラップで誘引された集団を餌を与えずに飛行させた数値を検討した。また、同様に肉トラップで採集した久留米の秋と春の自然集団、鹿児島県大隈半島鹿屋の自然集団と、豚舎に集合した肝属郡桜原の雌成虫も比較した。その結果、秋口の野生集団は志賀島や久留米ではその後の野生集団と統計的に有意な差が明らかになった。図 18 にオオクロバエの野生虫の季節による雌成虫体重の比較データを示したが、志賀島や久留米の秋口の雌成虫の体重は 1 月の鹿屋、桜原の集団とは有意に低い値を示し、また同地域の

春の自然集団と比較して有意に低い値を示した。同じ季節間では有意な差は無かった。飛翔特性については同じ地域の秋と春の比較データはまだ検討していないが、秋の集団を志賀島、久留米、鹿児島の間で比較すると、総飛翔時間について志賀島と鹿児島との間に有意な差があった。総平均飛翔速度、最大飛翔距離、最大連続飛翔時間、最大連続飛翔速度、最速飛翔速度においては有意な差は無かったが、平均的には鹿児島との2集団が優れた飛翔特性を示す傾向があった。

オビキンバエとオオクロバエの室内増殖集団を用いて、飛翔能力を比較した。図 26 に示すように、飛翔前体重に有意な差があった。図 28 の総飛翔距離はオオクロバエが平均 8.3km、オビキンバエの雌が 10.1km、雄が 11.7km とオオクロバエよりも飛翔距離はやや少なかった。図 27、図 29 の飛翔後の体重減少率、最大連続飛翔距離ではオオクロバエとオビキンバエに有意な差は認められなかった。

D. 考察 感染症媒介性の蚊類の移動分散能力を固定飛翔による実験的な基礎データによって推定する試みを行った。体重数ミリグラムの微小な蚊類の飛翔量を多数個体について正確に長時間測定する電子装置を開発した。この、強力磁性体の反発力を利用して回転軸の摩擦ロスを著しく軽減した磁気浮上式のフライトミル測定装置を用いて、九州の温暖地に生息するハマダラカ類、イエカ類、ヤブカ類などの 9 種類の雌成虫 94 個体について、飛翔前後の体重変化や総飛翔距離、総飛翔時間、総飛翔速度、最長連続飛翔距離、最長連続飛翔時間、最長連続飛翔速度などの飛翔に関わる物理変量を比較解析した。また、吸血虫と非吸血虫の生理的違いが飛

翔能力に及ぼす関係を比較し、これまで推測の域を出なかった飛翔速度や到達距離を客観的に推定し、将来的に国内に飛来侵入する衛生上重要な蚊類の移動分散に対処する基礎的なデータを取得した。その結果、ハマダラカ属の飛翔分散力は弱く、推定最大到達距離はシナハマダラカが 1.3km、溪流性のオオハマダラカは約 0.79km であった。ヤブカ類の飛翔力はやや大きく、林を好むトウゴウヤブカが 2.88km、平地を好むヒトスジシマカは約 4.0km と予測された。同じく平地性のヤマトヤブカは約 4.4km ~ 11.7km の高い分散距離が推定された。ヒト親和性の高いオオクロバエの飛翔力は最も大きく、約 17.6km の最大到達距離が推定された。一方、イエカ類の飛翔力は弱く、日本脳炎媒介虫のアカイエカは約 2.0km と推定された。ヒト吸血性のないヤマトクシヒゲカやクロツノフサカの飛翔力は小さかった。飛翔範囲の大きさは蚊の飛翔速度ではなく、飛翔の距離や時間の要素に有意な相関があった。

固定飛翔は不自然な飛翔であり、自然状態の自由飛翔による速度が得られれば、到達距離についてより客観的な予測値が得られるだろう。また、飛翔能力は翅の振動の物理的、生理的な要因にも関係することから、飛翔行動に関する音響特性も今後検討することが求められる。

D. 結論

蚊類の実験結果から、平均飛翔速度、平均飛翔時間、最大飛翔速度、最大飛翔時間の 4 つのパラメータから 9 種について平均分散距離、最大分散距離を推定した結果、従来のマーク虫放飼再捕獲による距離と比較してより広い範囲に飛翔すると予測された。衛生上重要な種類であるシナハマダラカは 1.3km、ヒトスジシマカ

は 4km 以上、トウゴウヤブカは 2.8km、ヤマトヤブカは 11.7km、オオクロヤブカは 17.6km、アカイエカは 2.1km の範囲と予測された。この予測値は実際上の距離に対して相当低く見積もられた数値であり、いわば最小範囲と言ってもよいだろう。データの中で吸血後の飛翔にかんする事例が少なかったが、オオクロヤブカやアカイエカで見たところでは、吸血によって著しく飛翔能力が上昇する傾向が示唆された。

ハエ類の調査では、国外からの飛来侵入の可能性が高いオオクロバエとオビキンバエの野生虫や室内増殖虫の経日的な飛翔能力を測定した結果、この 2 種は明らかに季節による生理的な差が現れ、秋期に飛来する個体群とその後の定住による生活が飛翔能力に影響すると考えられた。秋期の志賀島と久留米の野生虫の体重が 3 月や 4 月の体重より有意に大であるのは、秋期の産卵前の状態と初春の産卵後の体重差を示すことが、内部生殖器官の解剖結果からも明白である。一方、1 月の鹿児島県の集団の体重が秋の志賀島や久留米の雌より有意に重いのは、恐らく長距離飛来した直後の状態と、定着して安定した摂食活動で、卵巣が発達しつつある状態を示すことが解剖結果から明らかである。この体内生理的な状態は総飛翔時間の特性で有意な差となって現れている。

オビキンバエも秋に急激に個体数が増加する習性を示すが、これも長距離飛来の由来であると考えられる。飛翔能力の点では、オオクロバエより体重が有意に軽いにも関わらず、飛翔能力では大きな差異はなく、むしろ極めて高い飛翔能力を持つ種であることが判明した。オビキンバエの飛翔能力はオオクロバエとは異なり、雄と雌に差は少なく、体重においては雄の方がより大きい傾向を示した。これは雌の卵巣発育

前の状態であるという理由のほかに、雄のサイズの大なることが配偶行動に適応的に有利であると考えられることから、大きな雄の生存価を反映したバラツキの現象とも推察される。

F. 研究危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

K. Masaoka, K. Kanmiya, and J. Yukawa: Potential flight ability of *Oberea hebescens* Bates (Coleoptera:Cerambycidae). Spec. Publ. Japan Coleopt. Soc. Osaka,(1):215-221,2001.

上宮健吉：ヨシノメバエの系統の由来を求めて、pp.215-243,「ハエ学—多様な生活と謎を探る—」,篠永哲, 崑 洪編, 東海大学出版会, 2001.

2. 学会発表

上宮健吉：フライトミル法によるアブ類の飛翔能力の測定 日本衛生動物学会南日本支部大会、2001.

上宮健吉・楠井善久：磁気浮上式新フライトミルによるコガネムシ類の飛翔能力測定、日本昆虫学会第 61 回大会、2001.

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

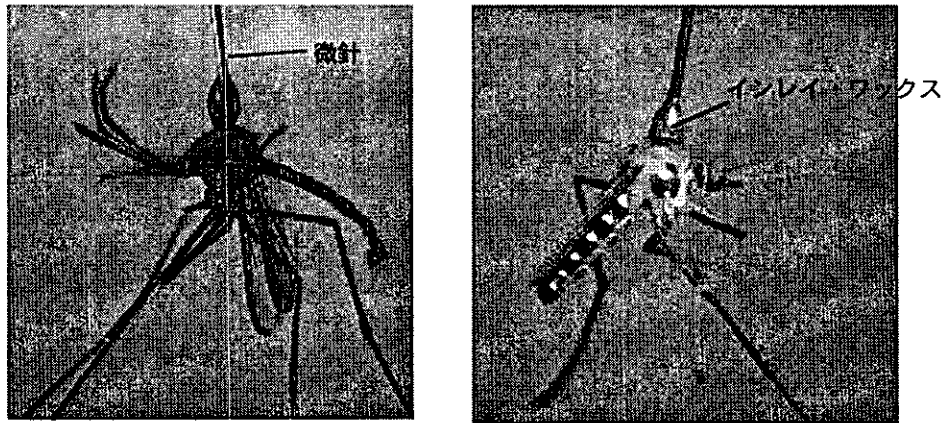


図1 蚊の固定飛行の方法

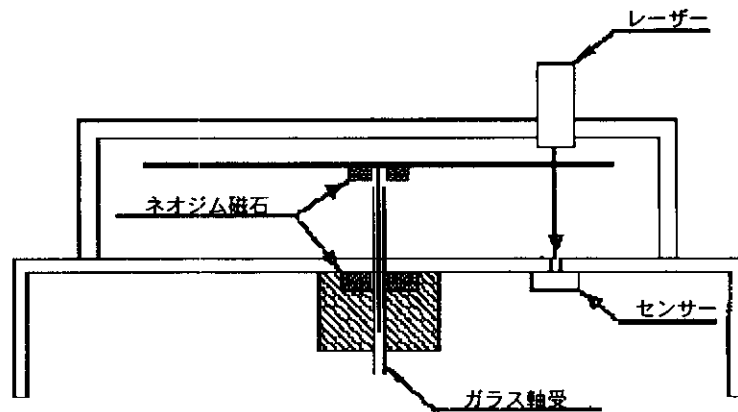


図2 蚊飛行測定用フライトミル概略図

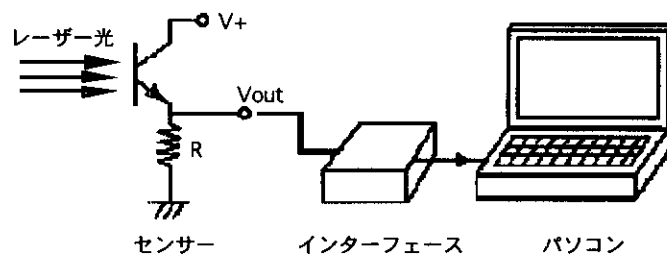


図3 蚊飛行量測定装置流れ図

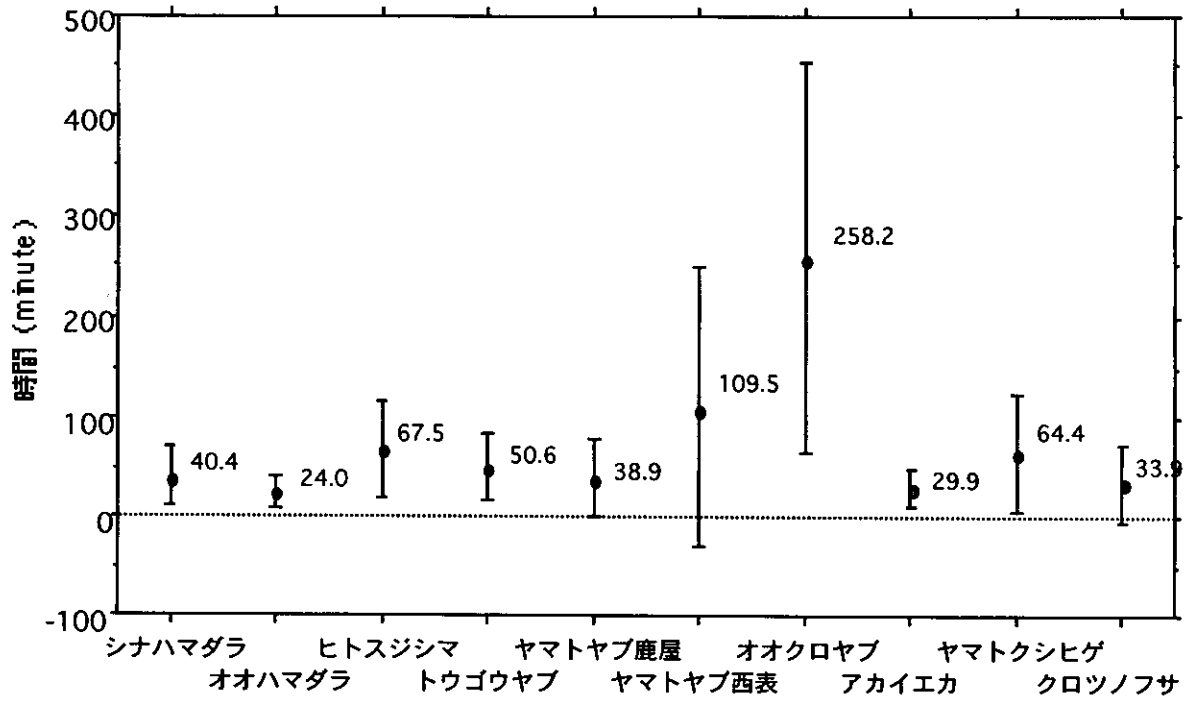


図4 総飛行時間比較図

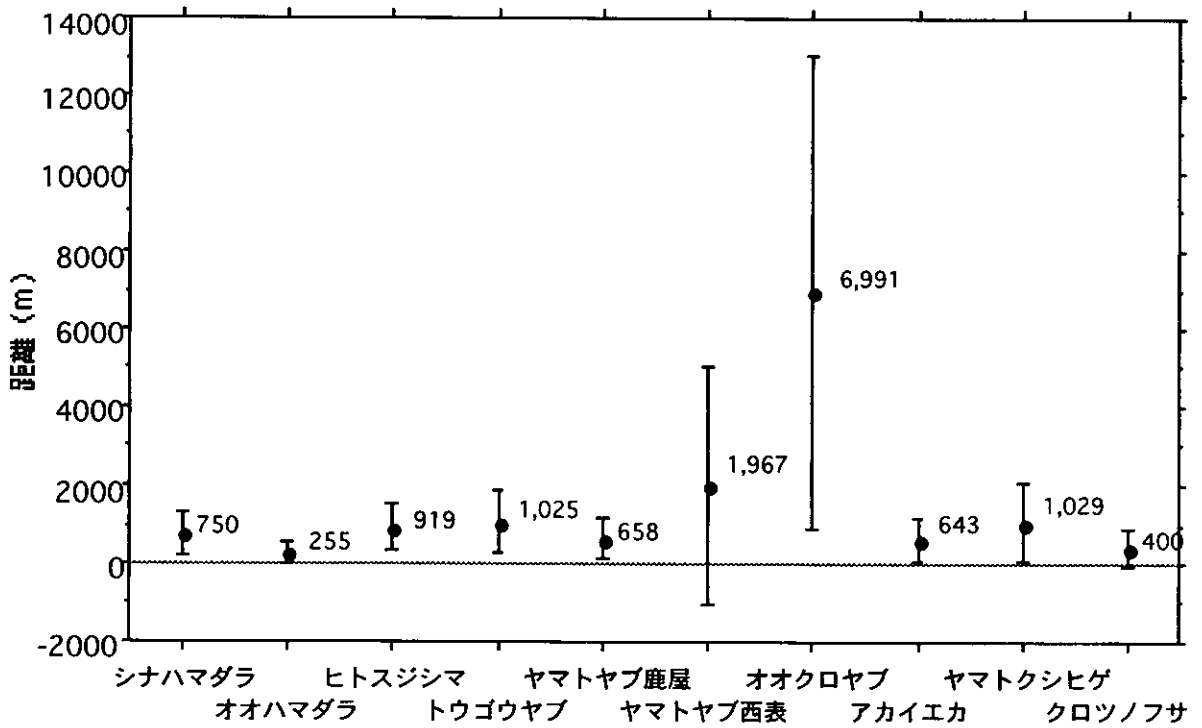


図5 総飛行距離比較図

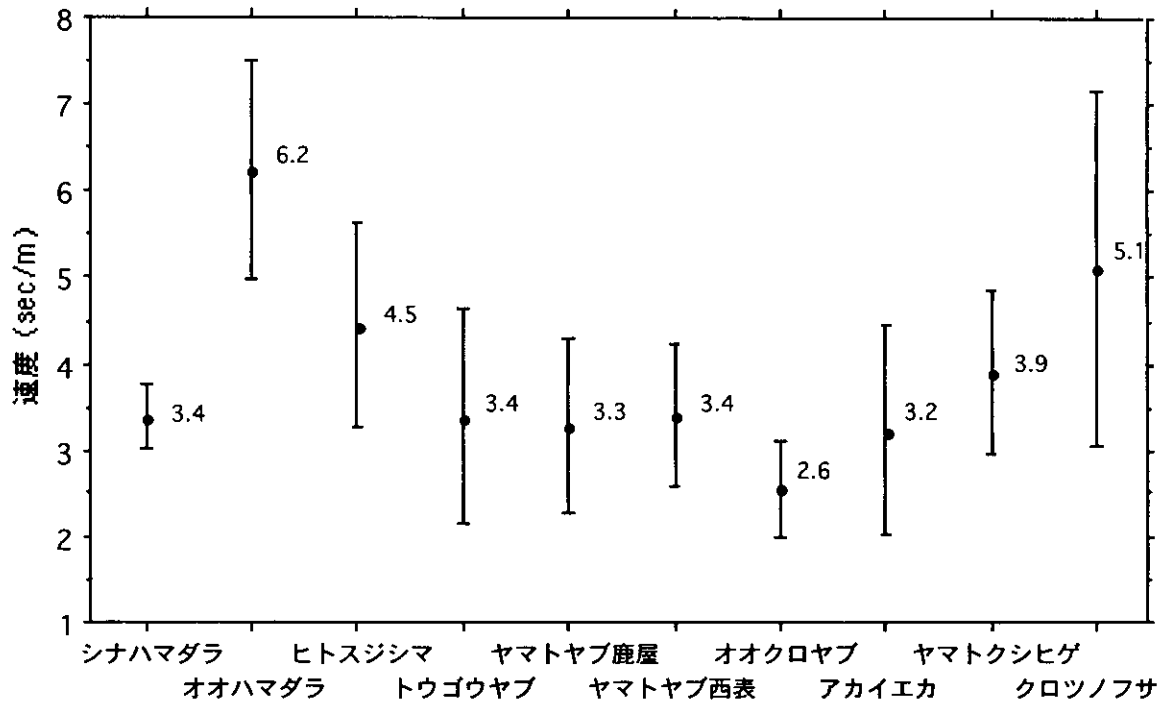


図6 総平均飛翔速度比較図

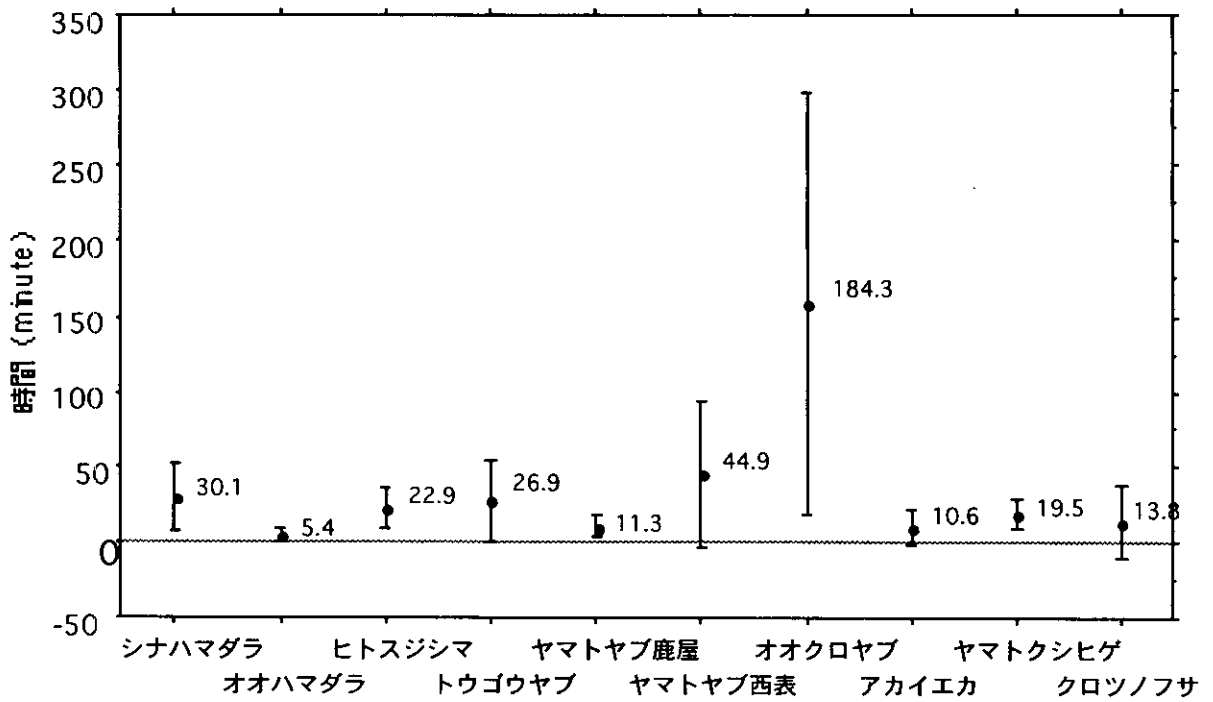


図7 最長連続飛翔時間比較図

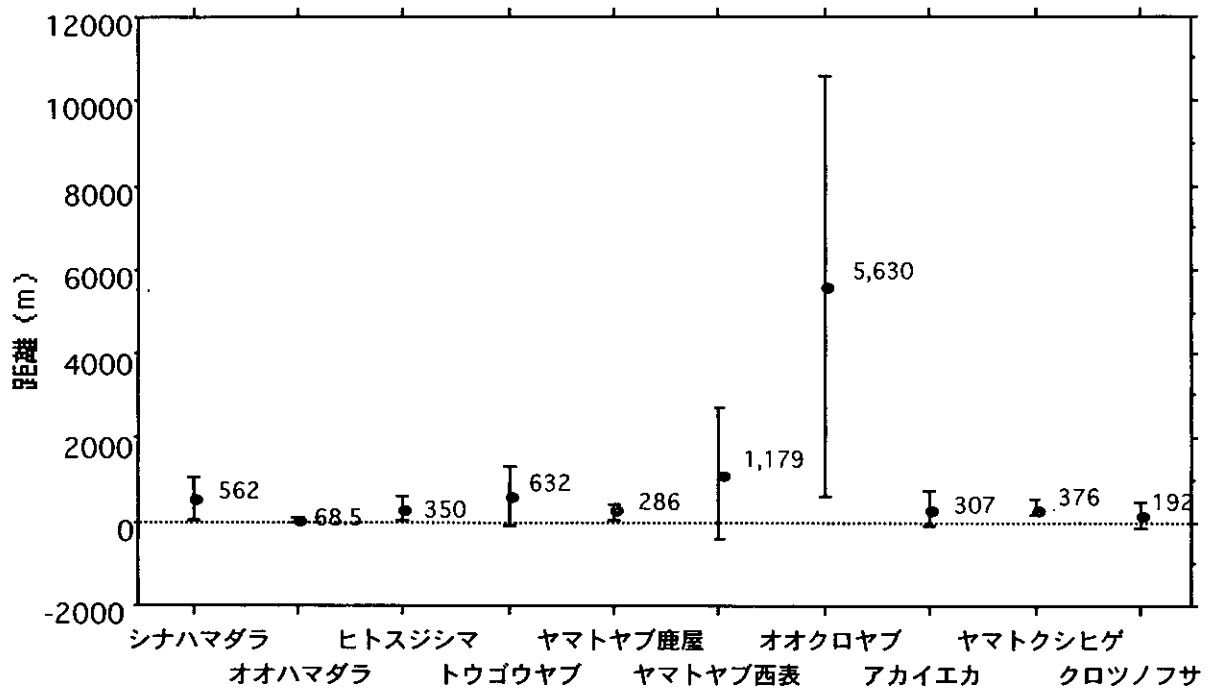


図8 最長連続飛行距離比較図

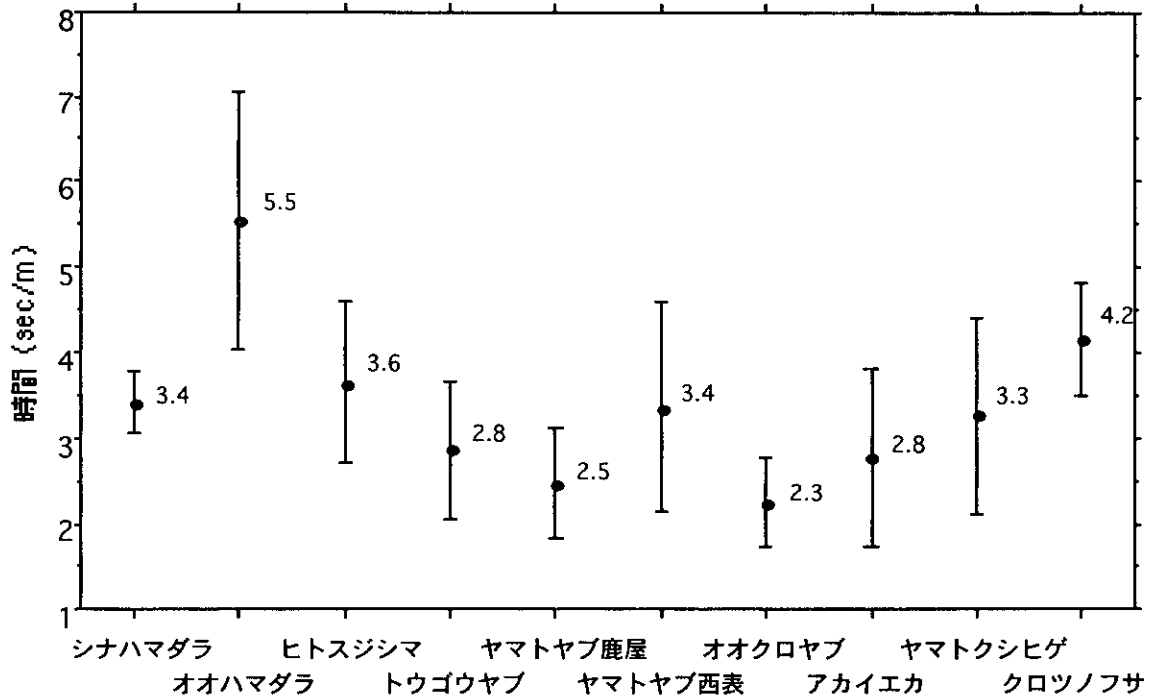


図9 最長連続飛行速度比較図

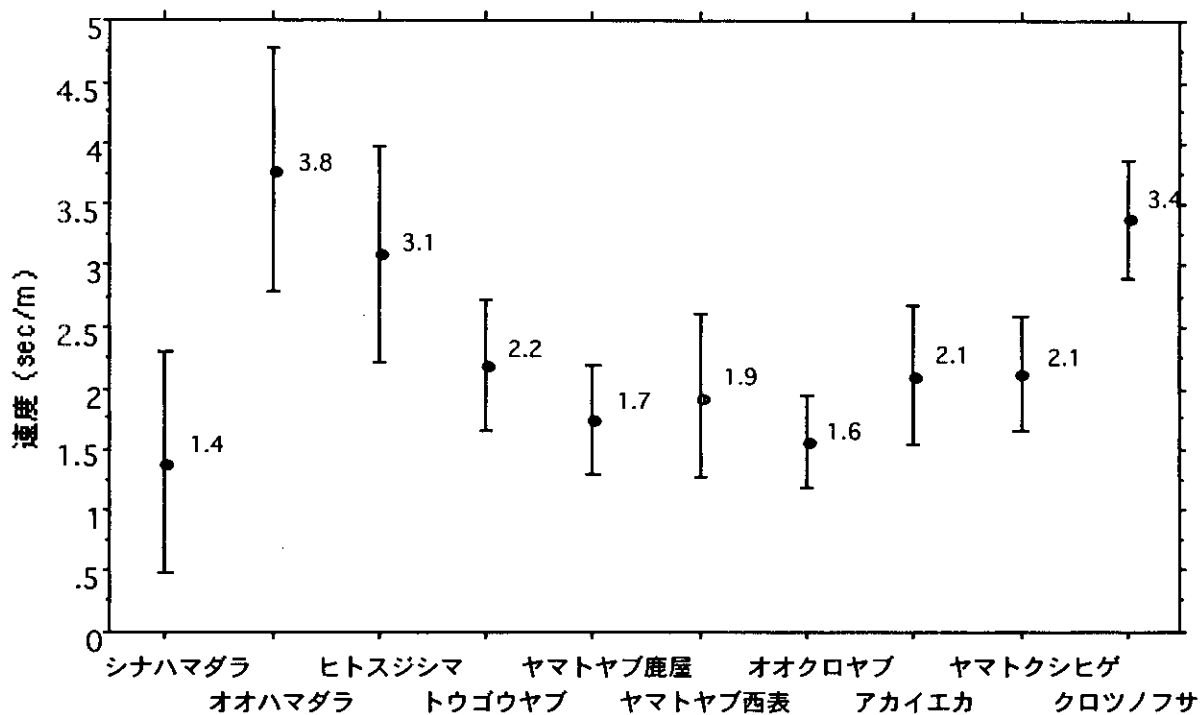


図10 最速100米飛翔速度比較図

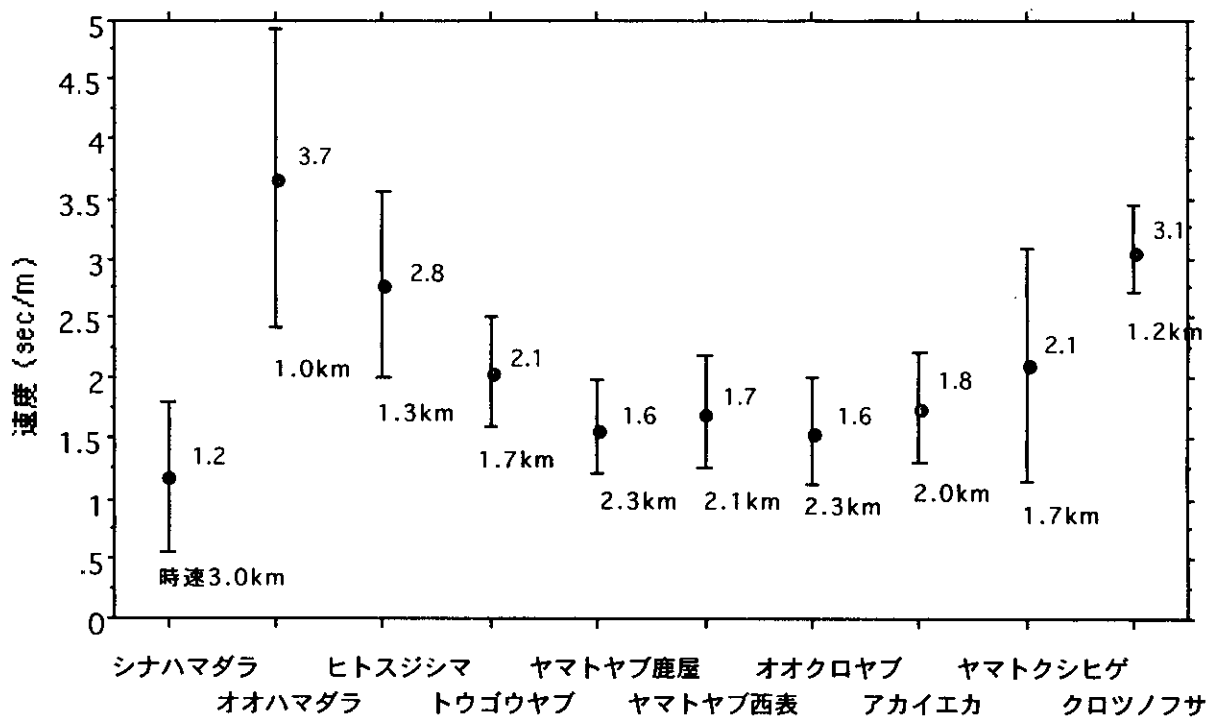


図11 最速25米飛翔速度比較図

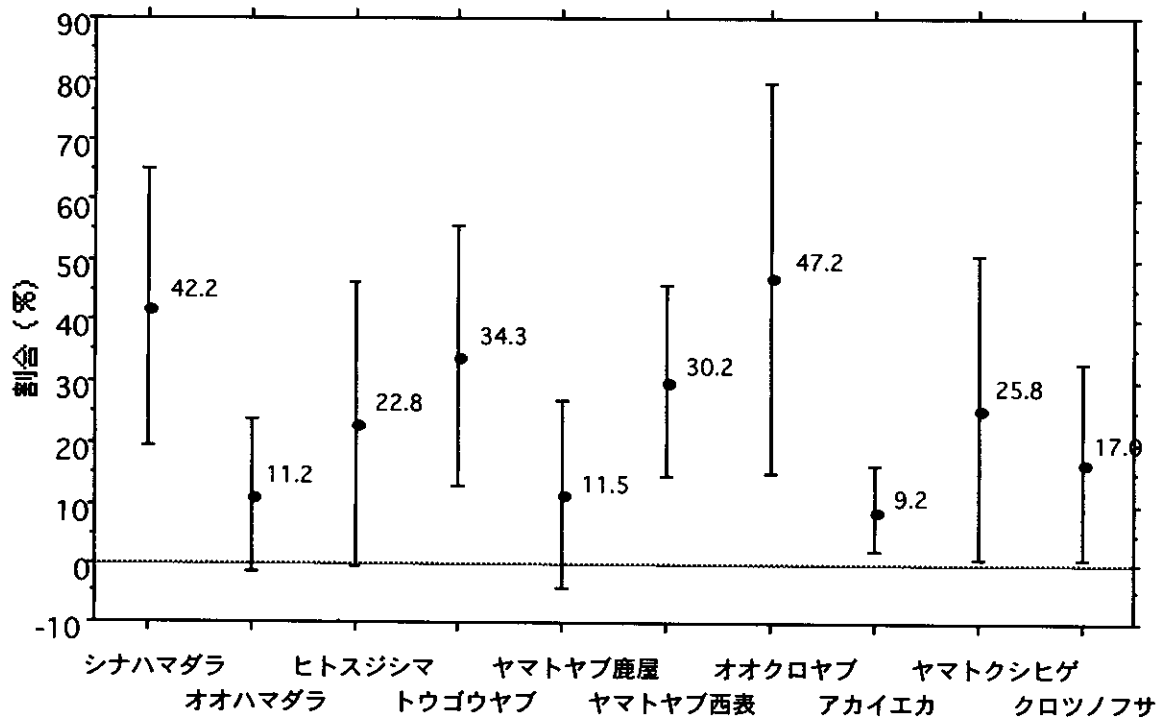


図12 飛行率比較図

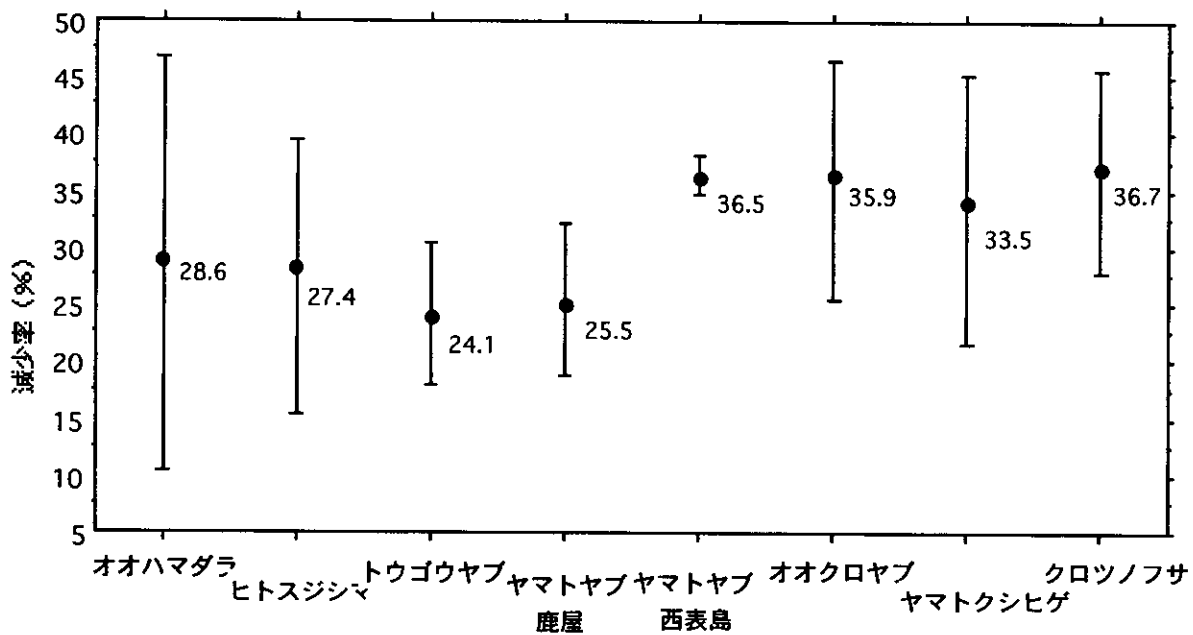


図13 飛行による体重減少率

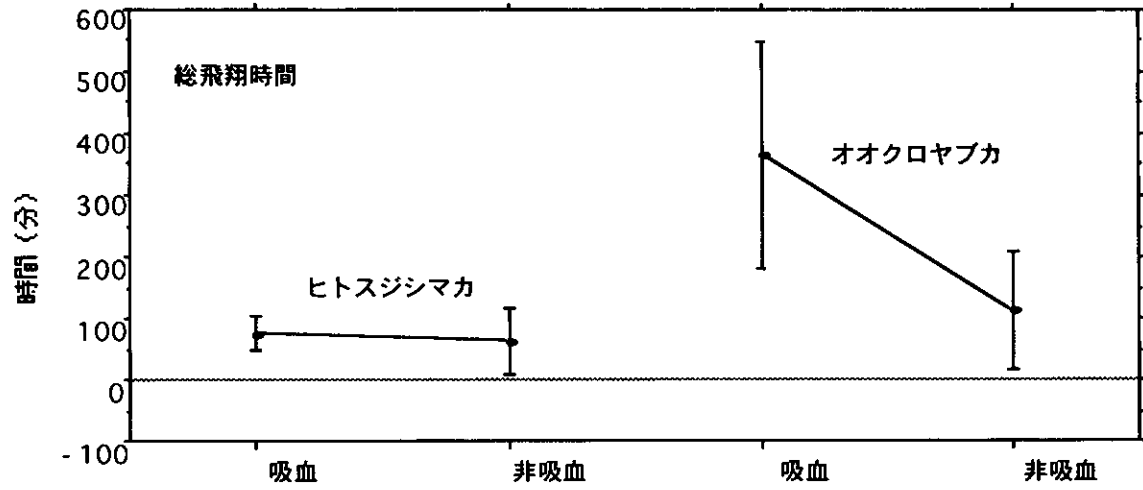


図14 総飛行時間に関する吸血と非吸血の比較

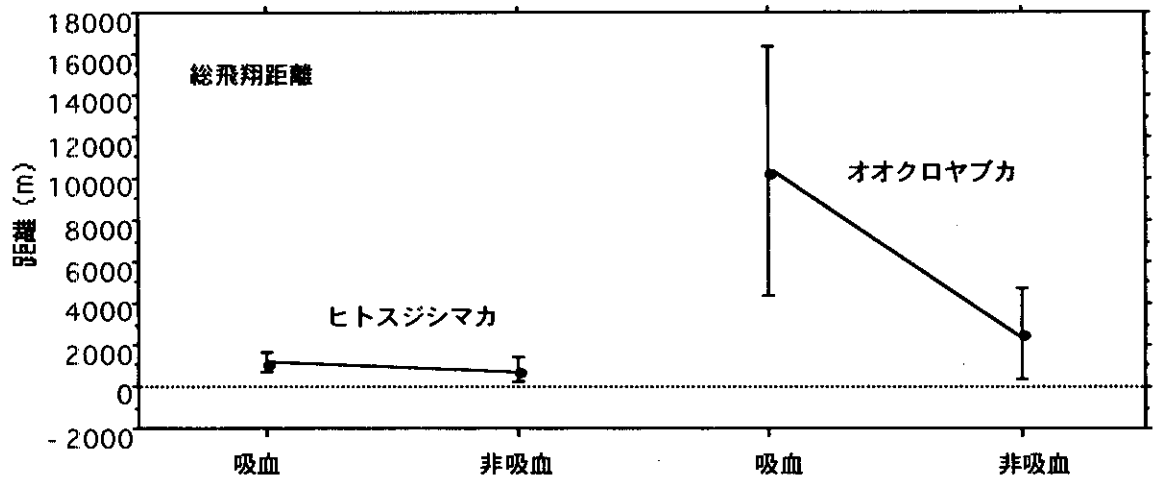


図15 総飛行距離に関する吸血と非吸血の比較

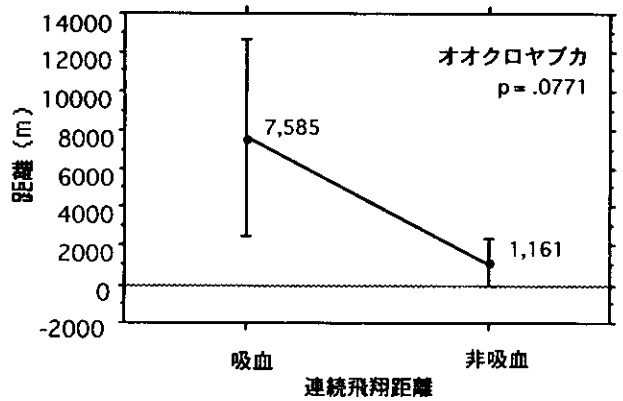
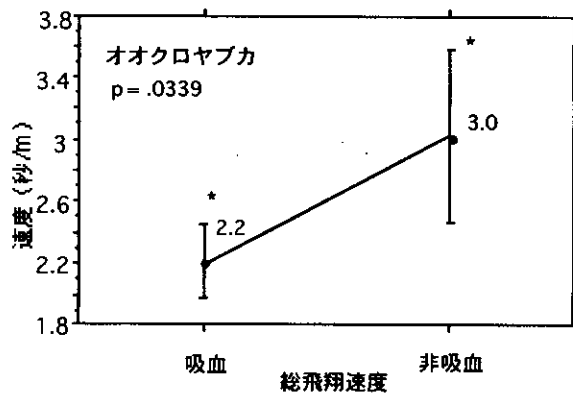
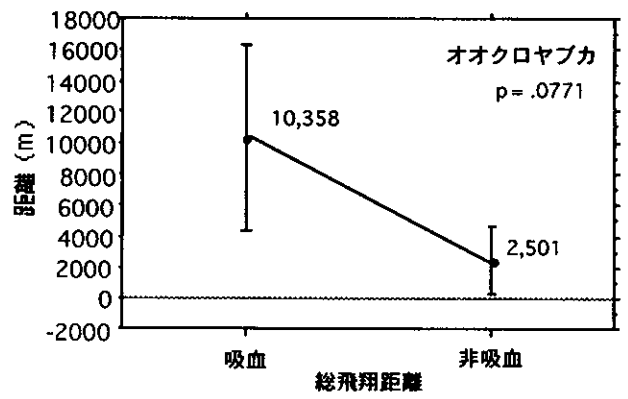
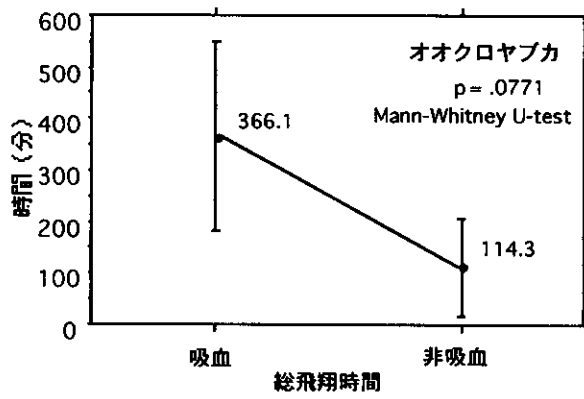


図16 オオクロヤブカの吸血と非吸血による諸飛行能力の比較

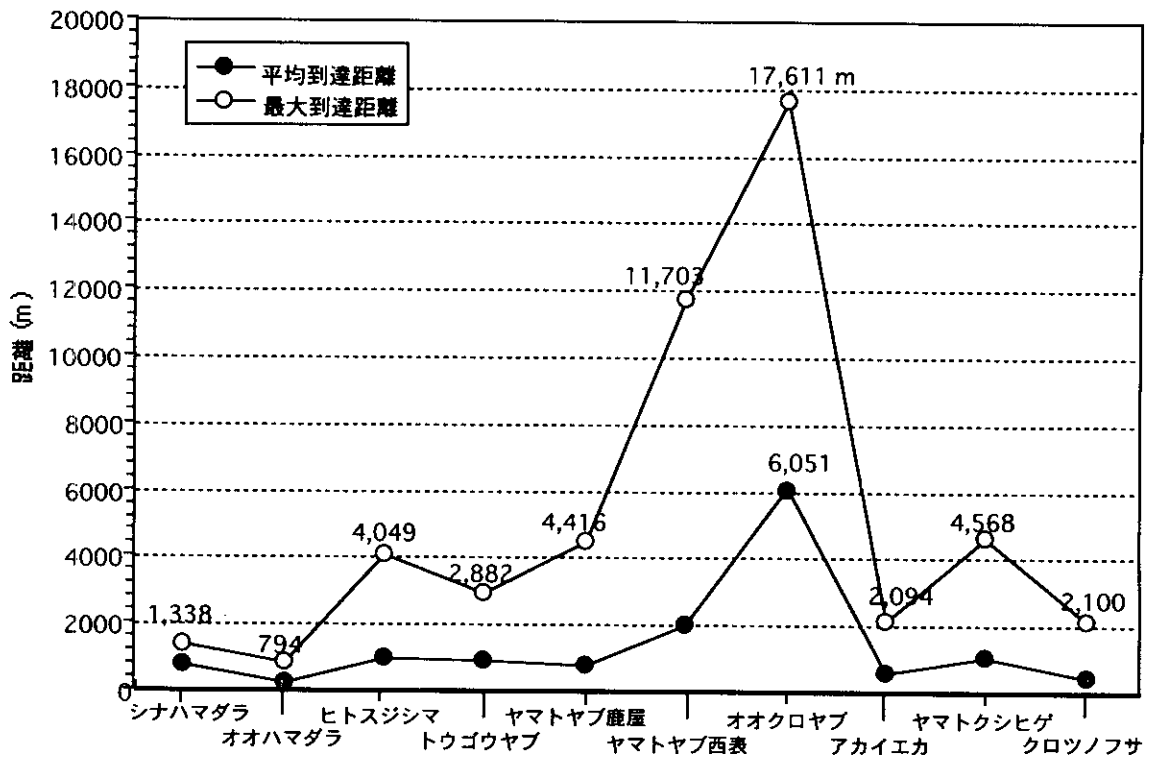


図17 固定飛翔データに基づく蚊類の推定飛翔距離

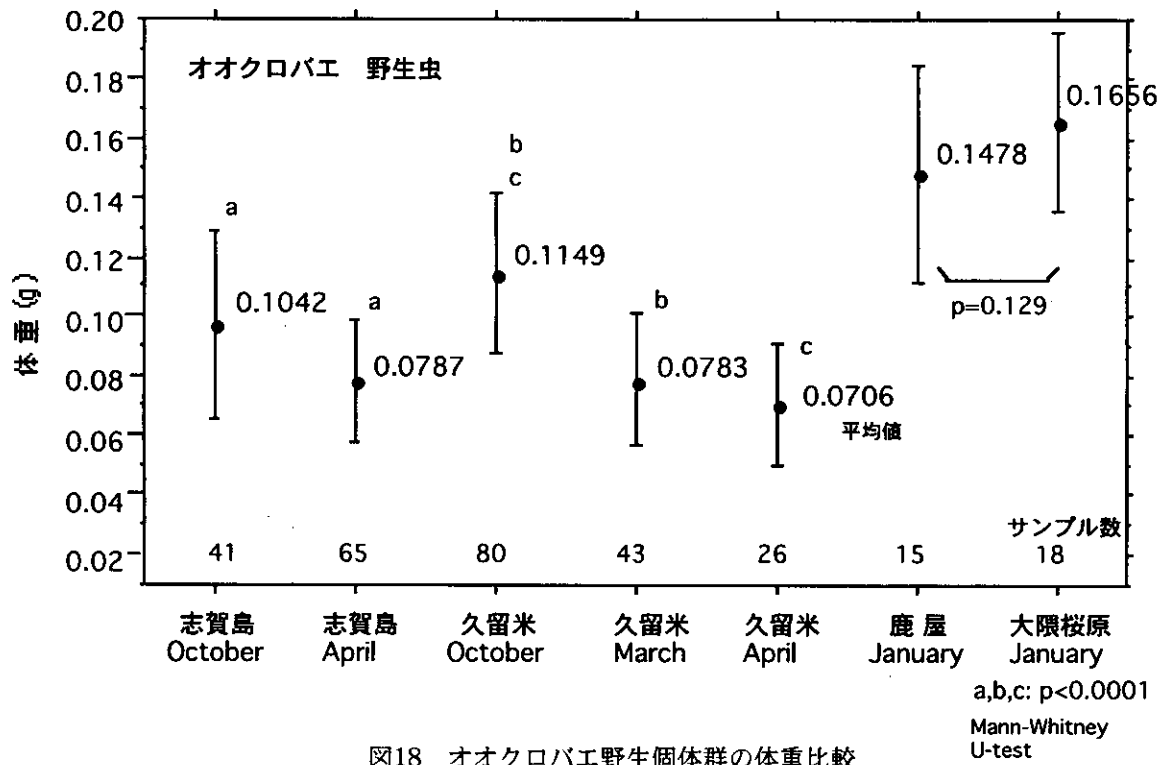


図18 オオクロバエ野生個体群の体重比較

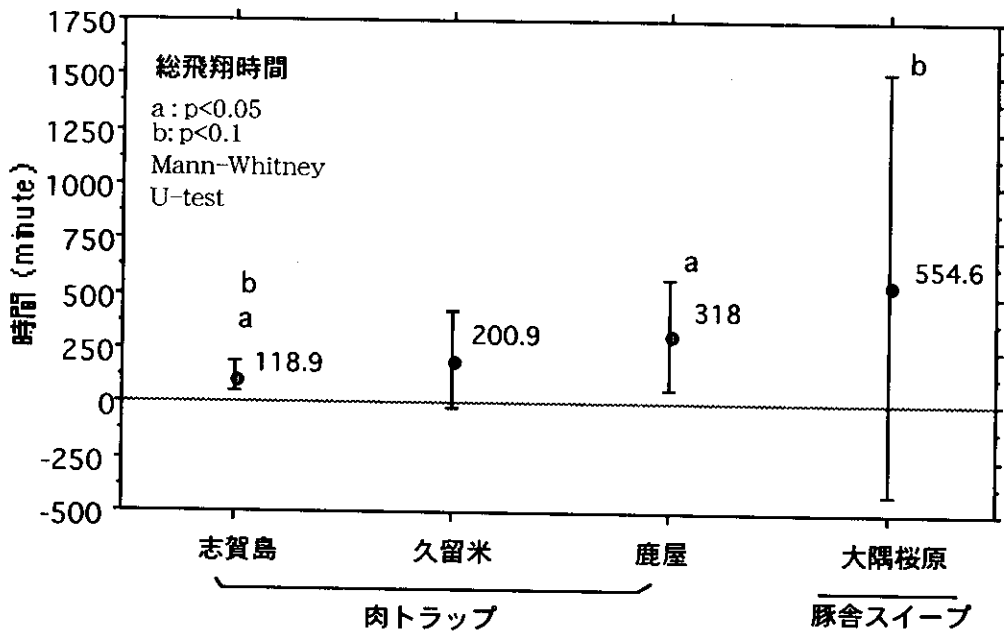


図19 オオクロバエ野生個体群の総飛行時間の比較

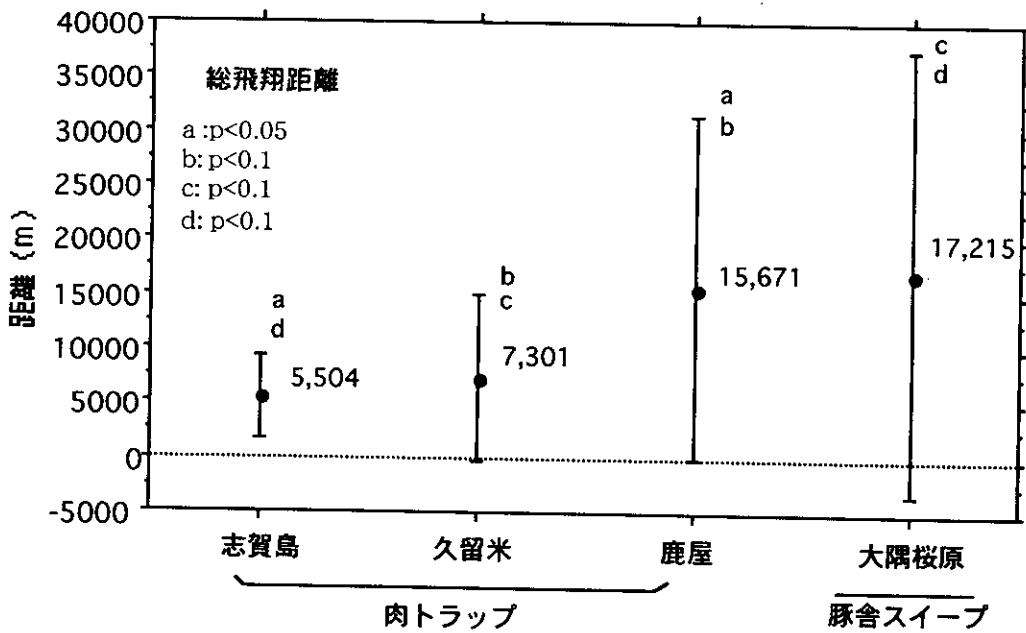


図20 オオクロバエ野生個体群の総飛行距離の比較

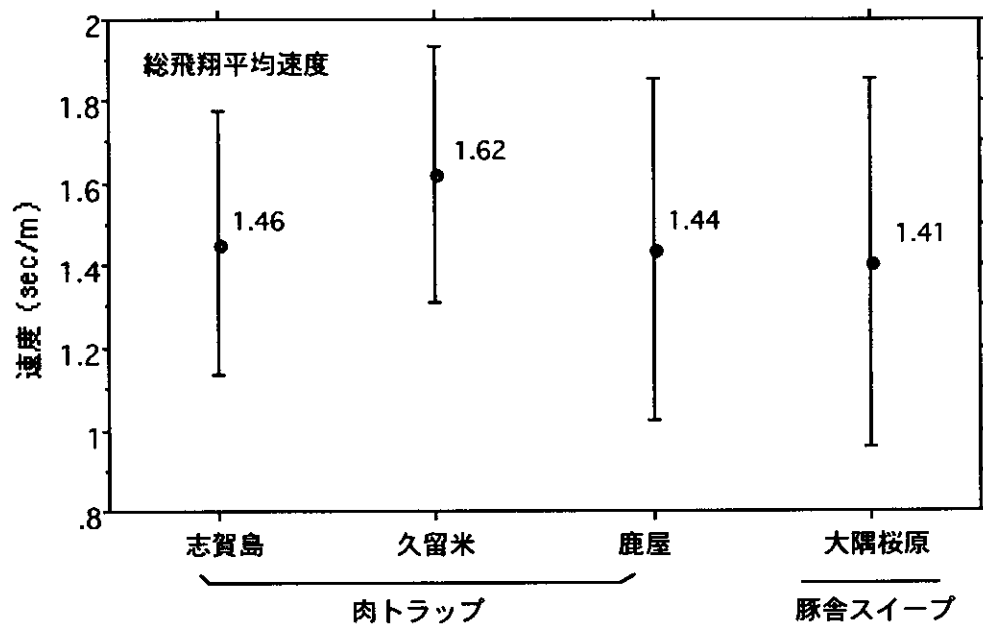


図21 オオクロバエ野生個体群の総飛翔平均速度の比較

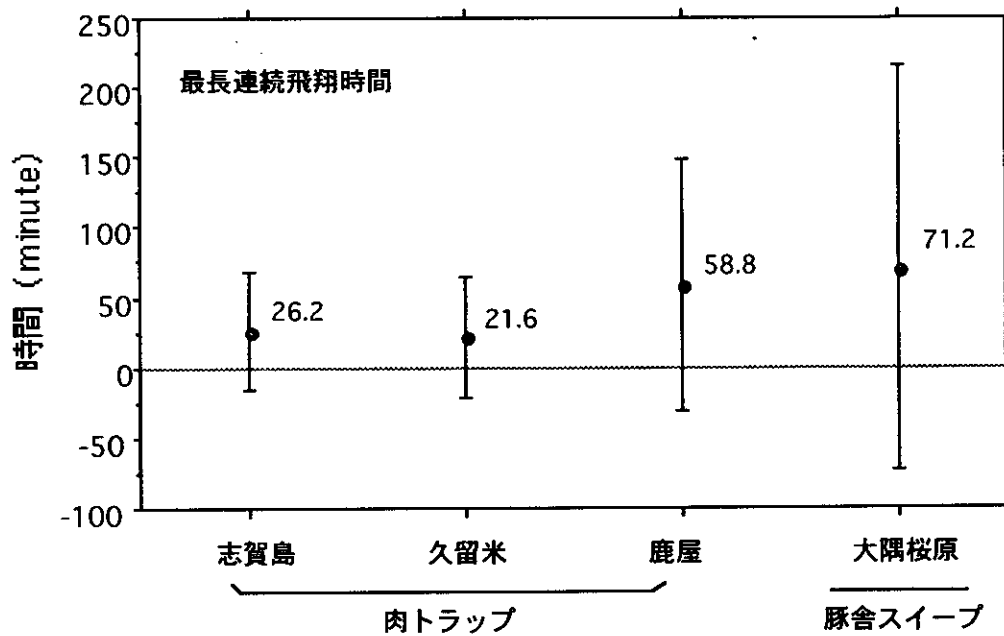


図22 オオクロバエ野生個体群の最長連続飛翔時間の比較

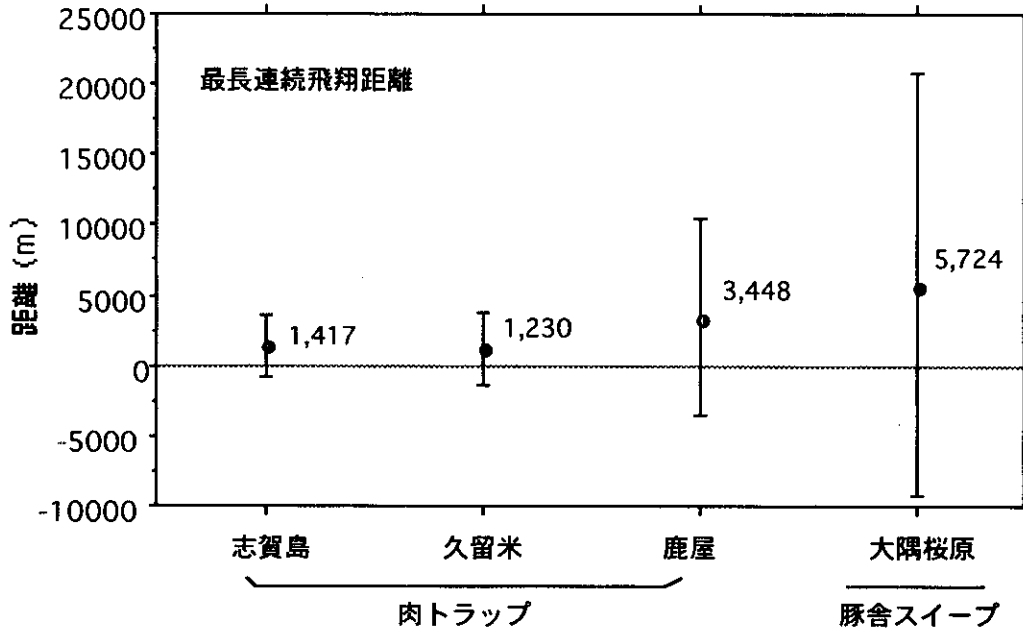


図23 オオクロバエ野生個体群の最長連続飛行距離の比較

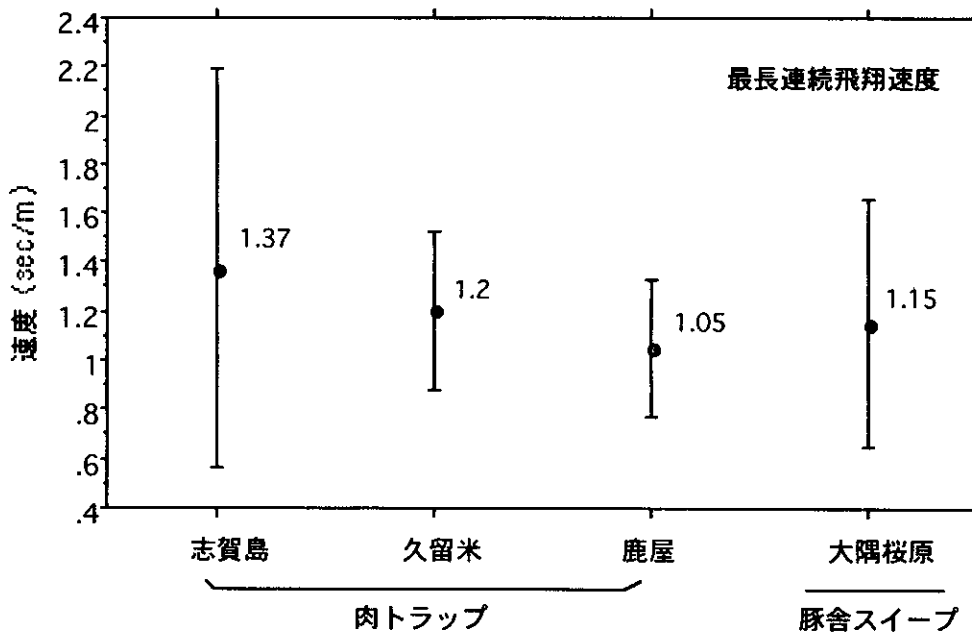


図24 オオクロバエ野生個体群の最長連続飛行速度の比較