河内微小流動プロジェクトの研究成果

目次

1.	微小サイズの翼型性能の解明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2.	非定常流体力の解明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
3.	計算流体力学による運動メカニズムの解明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
4.	生物間の相互作用にもとづく群行動のシミュレーション解析・・・・・・	8
5.	昆虫運動計測のためのレーザ計測システムの開発・・・・・・・・・	9
6.	光学測定法による神経応答の可視化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1 2
7.	神経細胞内ケミカル・コンピュテーションの解析・・・・・・・・・・	1 4
8.	飛翔昆虫の呼吸機序・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1 6
9.	はばたき音による空力荷重推定法の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1 7
10.	PIV 法による昆虫飛翔機構の空気力学的解析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1 8
11.	毛状翼特性の解明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1 9

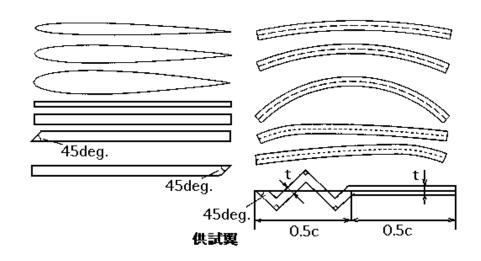
1. 微小サイズの翼型性能の解明

昆虫の翼サイズの翼型について、翼厚、反り、前縁の尖り等を変えて、翼型性能を測定し、 低いレイノルズ数下(4000)において性能の良い翼型の形状を明らかにした。

研究成果の概要

レイノルズ数=4000 において性能の良い翼型は、その形状に以下の特徴を持つ。 (1)薄い。(2)前縁が尖っている。(3)適度な反りを持つ。

(図)



成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 小型の流体機器における翼の断面形状の設計指針が得られた。
- 2) 3 次元翼の特性におけるアスペクト比の効果が明らかにされた。

特許出願

なし

報告書他

- 1) Sunada, S., Sakaguchi, A. and Kawachi, K.(1997): Airfoil section characteristics at a low Reynolds number. Journal of fluids engineering. March, Vol.119, 129-135.
- 2) 松本 有史、砂田 茂、河内 啓二(1997): 低レイノルズ数(Re=4000)における翼型特性。 第 35 回飛行機シンポジウム講演予稿集。489-492.

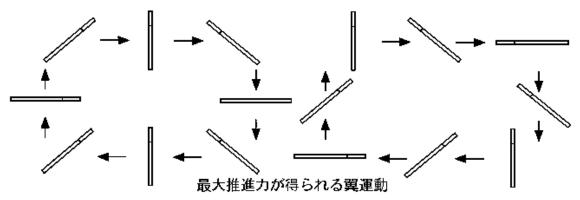
〔研究者名〕砂田 茂

2. 非定常流体力の解明

昆虫のホバリング飛行を対象として、並進運動と、回転運動を行う 2 次元翼に働く流体力の測定を行った。

研究成果の概要

非定常翼に働く流体力は、翼から放出される剥離渦によって強く影響される。そのため、 翼から剥離渦が放出されない定常の翼に働く流体力より、遥かに大きな流体力が働くこと がある。最大推進力、最大効率が得られる翼運動が明らかにされた。(図)



成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 性能の高い、小型の流体機器を設計するための設計指針が得られた。
- 2) 剥離渦を利用した飛行法を解析するための基礎データが得られた。

特許出願

なし

報告書他

- 1) Sunada, S., Matsumoto, A., Kawachi, K. and Sakaguchi, A (1996) Unsteady forces acting on insect wings in hovering flight. IUTAM, XIXth international congress of theoretical and applied mechanics. 483, Kyoto.
- 2) 松本 有史、砂田 茂、河内 啓二(1996) 羽ばたき翼に働く非定常流体力測定。 第34 回飛行機シンポジウム講演集。537-540
- 3) 砂田 茂、松本 有史、河内 啓二(1998) 羽ばたき翼による流体機器。 第 47 応用力学 連合講演会講演集

〔研究者名〕砂田 茂

3. 計算流体力学による生物運動メカニズムの解明

本研究では、世界では初めて計算流体力学的手法(CFD)を魚の遊泳および昆虫の飛翔の推進メカニズム解析に応用し、その有効性を検証したとともに流体力学的観点から幾つかの遊泳および飛翔の中に潜む運動メカニズムを明らかにした。得られた知見が生物学に貢献すると同時、工学的にもマイクロマシンや新しい推進器等の開発にこれらの優れたメカニズムを応用することが期待される。

研究成果の概要

A. 非定常流解析のアルゴリズム開発

生物まわりの流れの強い非定常性および複雑な剥離の振る舞いを重視したオリジナルなアルゴリズムを独自に考案して、信頼性が高く、しかも安定性の高い計算システムを開発し、実験および解析の諸結果と比較して本計算法の有効性を検証した。さらに、水棲生物の遊泳および昆虫の飛翔などの推進メカニズム解明のために、魚体や昆虫の羽等の幾何形状および運動を模擬できる、前処理・本解析・可視化処理について一貫性のある計算流体力学解析システムを開発した。

B. 遊泳メカニズム解明の計算流体力学的研究

上記の計算流体力学解析システムを、水棲生物の波打ち運動の流体力学的解析に応用する世界では初めての研究を行った。この結果、魚等の推進メカニズムは後流に jet 流を発生してその反力として推進力を得る現象であり、波打ちの周波数のある極めて狭い範囲内においてのみ適切に作働することを明らかにした。さらに、推進効果は幾何形状と運動モードの最適な組み合わせによるものであり、レイノルズ数が大きいほど効率が増加し、また生体の立体的な形状がもたらす3次元効果により若干左右されることも明らかにした(図1、2)。

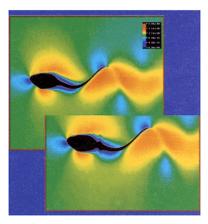


図 1 2 次元オタマジャクシまわりの流場 (Flows around a 2D swimming tadpole)



図 2 3 次元オタマジャクシまわりの渦構造 (Flows around a 2D swimming tadpole) (Vortex structures around a 3D swimming tadpole)

C. 飛行メカニズム解明の計算流体力学的研究

上記 A にて開発された計算流体力学的システムを昆虫のはばたき運動の流体力学的解析に応用する研究を行った。この研究では、昆虫の飛行における、自重を支えるための揚力と飛ぶための推進力を同時に発生する複雑なはばたき運動の非定常空気力学的機構とその性能を世界で初めて解析した。この結果、羽を打ち降ろす際に、羽の前縁付近において出現する強い前縁渦が、大きな揚力を発生するという流体力学的メカニズムを明らかにした(図3、4)。

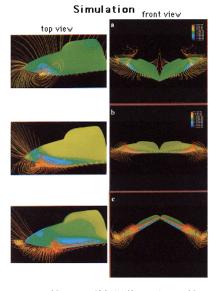


図 3 蛾の羽の前縁渦(打ち下ろし時) (Leading-edge vortex during downstroke of a hovering hawkmoth)

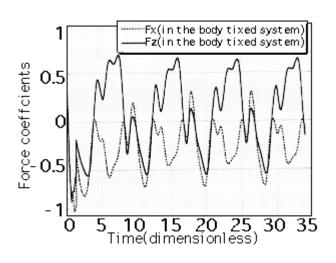


図 4 はばたき 1 周期における空気力とはばたき角度の関係 (Relationship between force-production and flapping angle during one beating cycle)

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 本研究で開発された計算システムは、高い信頼性および安定性をもち、生物・生体流体以外の強い非定常性を有する複雑な流体現象解析にも通用することが期待される。
- 2) 本研究で開発された魚の遊泳および昆虫の飛翔の推進メカニズム解析法は、生物の独特なマイクロな表面構造と流体の相互作用による流体制御(抵抗低減)メカニズムの解析、解明および工学への応用に有効な手段を提供できることが期待される。
- 3) 本研究で得られた知見は、自力で運動ないし飛行する微小機械、いわゆる milli-machine の開発、あるいは、広く次世代の推進器の開発において新しい基礎概念を提供するものであり、生物の優れたメカニズムを工学に応用するための基礎となることが期待される。

特許出願

なし

報告書他

- 1. 発表論文
- 1) H.Liu: A Numerical Study of Jet-Stream Propulsion of Oscillating Bodes Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol.178, 101-112, 1995.
- 2) H.Liu R.Wasersug and K.Kawachi: A Computational Fluid Dynamics Study of Tadpole Swimming Journal of Experimental Biology, Vol.199, No.6, 1996.(表紙)
- 3) H.Liu and K.Kawachi: A New Method of Streakline tracing for Time-periodic Biofluids Journal of Flow Visualization and Image Processing, Vol.3, No.4, pp.299-310, 1996.
- 4) L.J.Zeng, H.Liu and K.Kawachi: Measurement and Flow Visualization of A Beating Bumblebee Wing Journal of Flow Visualization and Image Processing, Vol.3, No.4, pp.319-332, 1997.
- 5) H.Liu, R.Wassersug and K.Kawachi: The Three Dimensional Hydrodynamics of tadpole Locomotion Journal of Experimental Biology, Vol.200, No.20, 2807-2819, 1997.(表紙)
- 6) H.Liu, C.P.Ellington, K.Kawachi, Coen van den Berg and A.P.Willmott: A Computational Fluid Dynamic Study of Hawkmoth Hovering Journal of Experimental Biology, Vol.201, No.4, 461-477, 1997.(in press)
- 7) H.Liu and K.Kawachi: A Numerical Study of Undulatory Swimming Submitted to Theoretical and Computational Fluid Dynamics, Vol.000, No.0, 00, 1997.
- 8) H.Liu and K.Kawachi: A Numerical Study of Insect Flight submitted to Journal of Computational Physics, Vol.000, No.00, 00, 1997.
- L.J.Zeng, H.Liu, H.Matsumoto and K.Kawachi: Scanning focus sensing method for Measuring the surface shape of fish scale Measurement Science and Technology, Vol.9, No.2, 250-255, 1998.

2. 国際会議発表

- H.Liu, S.Sunada and K.Kawachi: Time-Accurate Solutions to the Incompressible Navier-Stokes Equations with the Pseudo-Compressibility Method FED-Vol.215, Numerical Developments in CFD, ASME, 102-112, South Carolina, USA, 1995.
- H.Liu: A Computational Fluid Dynamics Study of Insect Flight Proceedings of Workshop on Insect Flight, Tokyo, 1995.
- 3) H.Liu, R.Wassersug and K.Kawachi: A Computational Fluid Dynamics Study of Undulatory Locomotion Proceedings of Fluid-Structure Interactions in Biomechanics (EUROMECH 344), London, 1996.
- 4) H.Liu and K.Kawachi: A Numerical Study on Nice Preformance Foil in Unsteady Motions at Low Reynolds Number Proceedings of The Second Symposium on Aeronautical Science and Technology (ISASTT '96), Jakarta, Indonesia, 1996.

- 5) H.Liu and K.Kawachi: Numerical Study of Unsteady flows past a 3D Flexing Body Proceedings of International Symposium on Fluid Machinery and Fluid Engineering, Beijing, China, 1996.
- 6) H.Liu and K.Kawachi: Visulization processing of unsteady flows by fluid-structure interactions in biomechanics Proceedings of The 1st Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing(PSFVIP-1), Hawaii, USA, 1997.
- 7) H.Liu and K.Kawachi: Leading-edge vortex during up/down stroke of 3D hovering wing FEDSM97-3308 (Separated and Complex Flows), Vancouver, Canada, 1997.
- 8) H.Liu: CFD-based Analysis of Vertebrate Locomotion Proceedings of the Workshop on Insect Fight, Cambridge, UK, 1997.
- 9) H.Liu: A Numerical Study of Biofluids in Arteries, to be presented at The 9th International Conference on Biomed, Eng., Singapore, December 3-6, 1997.

3. 国内会議発表

- 1) 劉 浩、河内 啓二「昆虫ホバリングに関する数値計算」日本機械学会第 74 期全国大会 講演論文集、バイオエンジニアリング部門、Vol.I,1996.
 - (H.Liu and K.Kawachi, Computating of Insect Hovering, Proceedings of The 74th Fall Annual Meeting, Bioengineering division, Vol.I, 1996.)
- 劉 浩「生物外部流れに関する可視化」第36回日本エムイー学会大会予稿集、Vol.I,1997.
 (H.Liu, Visualization of External Flows in Biomechanics, Proceedings of The 36th Japan ME Society Spring Meeting, Vol.I, 1997.)
- 3)劉 浩「遊泳および飛翔の biofluids に対する計算流体力学的解析」科学技術振興事業団 河内微小流動プロジェクト終了シンポジウム、1997.
- 4) 劉 浩「遊泳の3次元効果および運動効果」日本機械学会第75期全国大会講演論文集、 バイオエンジニアリング部門、1998.
 - (H.Liu, Effects of 3D and kinematics on swimming, to be presented at The 75th Fall Annual Meeting, Bioengineering division, Vol.0, Jan.22-25, 1998.)
- 5) 劉 浩「ホバリング翼まわりの非定常流解析」第 11 回数値流体力学シンポジウム講演 論文集、12 月 18-20 日、1997.
 - (H.Liu, Unsteady aerodynamics of a hovering foil, to be presented at the 11th Computational Fluids Dynamics Symposium, Dec.18-20, 1997.)

〔研究者名〕劉 浩

4. 生物間の相互作用にもとづく群行動のシミュレーション解析

生物の群れの構造や動きを支配する個体間の相互作用の解析方法を考察し、解析用ソフトウェアを開発した。

研究成果の概要

- 1) 生物間の相互作用をもとに自身の行動を決定する生物モデルを作成
- 2) 各個体ごとに個体間の関係をテーブルに記述し、それを生物モデルに入力することによって各個体の動きを制御
- 3) 任意の関係構造をもとにできあがった群れ構造をソフトウェアによって可視化 (図 1、図 2、図 3)

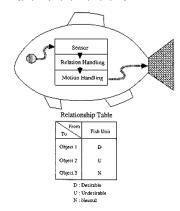


図1 生物モデルと関係テーブル (魚を例としたもの)



図 2 行動決定システム (Motivation Level に比例した 頻度で移動方向を決定)

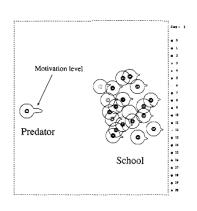


図3 シミュレーションの実行例 (魚群の逃避行動の例)

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 人間の集団行動を考慮した都市設計、建築物設計
- 2) 魚群の行動を考慮した漁獲技術、養殖技術の開発

特許出願

なし

報告書他

- 1) Yoshinobu Inada and Keiji Kawachi: Simulation of Escaping Behaviour of a Fish School, Proceeding of Deterministic and Stochastic Modelling of Biointeraction (DESTOBIO97), (1997)
- 2) 稲田 喜信「生物間の相互作用にもとづく魚群の逃避行動のシミュレーション」河内微小流動プロジェクトシンポジウム講演要旨集、p22-36(1997) 〔研究者名〕稲田 喜信

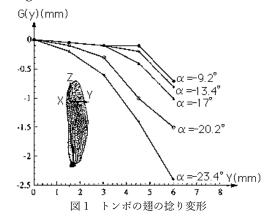
5. 昆虫運動計測のためのレーザ計測システムの開発

主に昆虫や魚に対して、運動の形状変化や力などの測定システムの開発

研究成果の概要

昆虫の飛行特性を解明するためには、翅の捻り変化や羽ばたき力などの測定が必要であるが、今日ではレーザ応用技術の進歩により、光学測定法での測定が可能になった。今回、翅の特性を十分に考慮し、beating motion と beating force の測定方法を開発した。

まず、トンボに対して捻り変形などの測定を 行った。運動中の翅の捻り変形を研究するため に、レーザー走査ビーム法を開発した。この方 法では、従来の高速度カメラ測定法より捻り変 形の細かい測定が可能である。測定原理は、三 角測定法を利用し、光偏向素子を使い、レーザ ビームを翅の上に走査し、走査ビームの相対位 置から、翅の変形を得るというものである。図 1 は捻り変形の測定結果を示したものである。



トンボの翅が羽ばたく時、羽ばたき角度を測定するために、2方向縞投影方法を開発した。 この方法では、一台の高速度カメラで多断面を測定することができる。この方法によってオ ニヤンマを測定した。測定結果は図2に示した。

トンボをゲージブロックで固定すると、ゲージブロックはトンボの羽ばたき力によって曲がる。その曲がる角度をレーザで測定し、また風洞実験中の空気ゆらぎの影響を 2 色法で補正した。図3は、オニヤンマの垂直方向力の、一周内測定結果を示したものである。

また、ハチや魚などに対して、色々な光学測定法を開発した。

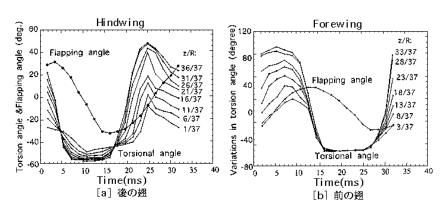


図2 トンボの翅の羽ばたき角度と捻り角度

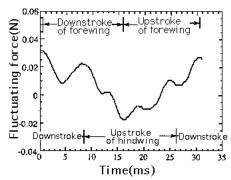


図3 トンボの垂直方向の羽ばたき力

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 昆虫の運動の測定
- 2) 工業加工物や自然運動体の形状やその変化を精密に測定し、科学、産業に役立てる。

特許出願

1) 空気ゆらぎの補正

特 願:平7-334705 出 願 人:新技術事業団

請求の概要:測定対象物周りの媒体の揺らぎによるノイズの補償方法及びそのための装置 Method and apparatus for compensating for noise generated by fluctuation of a medium around an object to be measured

2) 多点変位測定法

特 願:平9-112033

出 願 人:科学技術振興事業団

請求の概要:マイクロレンズアレーを用いた多点同時変位測定方法

報告書他

- 1) L.Zeng, H.Matsumoto, S.Sunada, T.Ohnuki and K.Kawachi, TWo-dimensional, noncontact measurement of the natural frequencies of dragonfly wings using a quadrant position sensor, Optical Engineering, 34, 1226-1231(1995).
- 2) L.Zeng, H.Matsumoto, S.Sunada and K.Kawachi, High-resolution method for measuring the torsional deformation of a dragonfly wing by combining a displacement probe with an acousto-optic deflector Optical Engineering, 35, 507-513(1996).
- 3) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Two-color compensation method for measuring unsteady vertical force of an insect in a wind tunnel Measurement Science and Technology, 7, 515-519(1996).
- 4) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, A fringe shadow method for measuring flapping angle and torsional angle of a dragonfly wing Measurement Science and Technology, 7, 776-781(1996)
- 5) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Scanning beam collimation method for measuring dynamic angle variations using an acousto-optic deflector Optical Engineering, 35, 1662-1667(1996).
- 6) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Angle compensation sensor for measuring the shape of a dragonfly wing Sensors and Actuators (A: Physical), 55, No.2~3, 87-90(1996).
- 7) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Divergent-ray projection method for measuring the flapping angle, lag angle, and torsional angle of a bumblebee wing Optical Engineering, 35,

- 3135-3139(1996).
- 8) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Simultaneous measurement of the shape and thickness of a dragonfly wing Measurement Science and Technology, 7, 1728-1732(1996).
- 9) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Two-direction scanning method for reducing the shadow effects in laser triangulation Measurement Science and Technology, 8, 262-266(1997).
- 10) L.Zeng, H.Liu and K.Kawachi, Measurement and flow visualization of a beating bumblebee wing Journal of Flow Visualization an Image Processing, 3, 319-327(1996).
- 11) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Multi-point dynamic displacement probe that uses a self-focusing micro-lens array Optical Engineering, 36, 1361-1366(1997).
- 12) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, A multireference-fringe pattern projection method for measuring the shape of object with spatially isolated surface Optical Engineering, 36, 2320-2324(1997).
- 13) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Time-sharing collimation method for measuring the beating force of an insect Optical Engineering, in press.
- 14) L.Zeng, H.Liu, H.Matsumoto and K.Kawachi, Scanning focus-sensing method for measuring the surface shape of a fish scale Submitted to Measurement Science and Technology.
- 15) L.Zeng, H.Matsumoto and K.Kawachi, Simultaneous measurement of the position and shape of a swimming fish by combining a fringe pattern projection method with a laser scanning technique Submitted to Optical Engineering.

〔研究者名〕曾 理江、松本 弘一

6. 光学測定法による神経応答の可視化

膜電位感受性色素を用い昆虫で初めて神経応答可視化に成功した。

研究成果の概要

- 1) 電気刺激によりエビガラスズメガの触覚葉で神経応答記録に成功した。
- 2) 匂い刺激時のエビガラスズメガ、およびマルハナバチの触覚葉、前大脳で神経応答記録に成功した。
- 3) 前大脳において約30Hzの発振信号を見いだした。
- 4) 実体顕微鏡下での神経応答の可視化に成功したことにより、約 4cm のワークディスタンスを得ることが可能となった。

(図1、図2、図3)

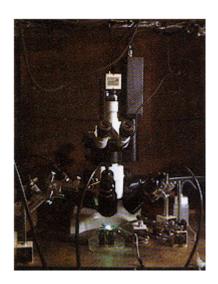


図1 光学測定に用いた実体顕微鏡セット

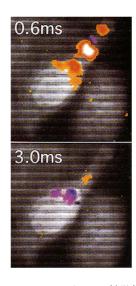
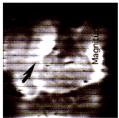


図 2 エビガラスズメガの触覚葉での 電気刺激時の神経応答



2.0 2.5Hz 1.5 1 0.5 0 20 30 40 50 Freq. (Hz)

図 3 マルハナバチの前大脳における 発振の周波数解析結果

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 生物の運動制御系の解明
- 2) 脳機能解析

特許出願

なし

報告書他

1) Okada K., Kanzaki R. and Kawachi K. High-speed voltage-sensitive dye imaging of an in vivo insect brain. Neuroscience Letters 209, 1996, 197-200

- Okada K., Kanzaki R. and Kawachi K. Optical recording with voltage-sensitive dye in an insect brain. Proceeding of the 4th International Congress of Neuroethology Sep.3-8, 1995, 390
- 3) Okada K. Analysis on olfactory information process in insect brain by optical recording method. ERATO Symposia '95 Part 1 abstracts of Presentation 1995; 35-42
- 4) 岡田 公太郎、神崎 亮平「In vivo 昆虫脳におけるオプティカルレコーディング」第 4 回日本バイトイメージング学会学術集会 Vol.4 1995; 34
- 5) Okada K., Kanzaki R. and Kawachi K. Visualization of Neural Activity in In Vivo Insect Brain. XIIth International Biophysics Congress. P-G2-05, 1996; 183
- 6) Okada K., Kanzaki R. and Kawachi K. Measurement of Neural Activities in an Antennal Lobe of a Moth Brain by High-speed, Voltage-sensitive Dye Imaging. Society for neuroscience 26th Annual Meeting. 428.14, 1996; 1079.

〔研究者名〕岡田 公太郎、神崎 亮平

7. 神経細胞内ケミカル・コンピュテーションの解析

蛍光イメージング法により、無脊椎動物の介在神経細胞において、電気的興奮(活動電位) がカルシウムイオン濃度変化という化学物質を媒体とした情報に変換されることを明らか にした。またその細胞内でのダイナミクスにより細胞の電気的興奮性が修飾される可能性 を示した。

研究成果の概要

[目的] フタホシコオロギの最終腹部神経節内には、尾葉への風刺激に応答し逃避行動を引き起こす 8 対の giant interneuron が存在する。これらのニューロンは神経節両側に特異的な樹状突起を延ばし、左右の尾葉からの気流感覚信号を処理していると考えられているが、一本一本の感覚毛からの入力を細胞の何処で受け取り、どのように統合してそのニューロンの反応性を決定するのかはほとんど分かっていない。このような感覚情報統合過程を調べるため、カルシウム感受性蛍光色素を細胞内に注入し、同時に細胞内電位記録を行いながら、興奮時の細胞内カルシウム濃度変化を共焦点レーザ顕微鏡で計測した。

[方法]フタホシコオロギ(Gryllus bimaculatus)の最終腹部神経節を尾葉および尾葉神経束とともに摘出した。giant interneuron 内に 5mM Calcium Green 1 を充填したガラス微小電極を刺入し、電気泳動的に色素注入した。細胞内に電極を保持したまま、細胞内 Ca 濃度変化を共焦点レーザ顕微鏡で計測した。刺激にはピコポンプによる尾葉への風刺激と、フック電極による尾葉神経束への電気刺激を用いた。

[結果と考察]尾葉神経束への電気刺激と同様に、尾葉に風刺激を加えた場合にも、活動電位の発生に伴って giant interneuron 内の細胞内 Ca 濃度が上昇した。この Ca 濃度上昇は、1)逆行性電気刺激や脱分極通電によっても引き起こされる、2)1mM Ni²+、Co²+、Cd²+によって消失する、3)閾値以下のシナプス入力による EPSP では生じない、4)1 μ MTTX によっ

て可逆的に消失する、ことが分かった。以上の結果から、giant interneuron 内の細胞内Ca 上昇は電位依存性Ca チャンネルからの流入によるものであり、それにはNa spikeが必須であることが分かった。らに尾葉神経束へのテタヌス刺激(20Hz)前後で giant interneuronの風応答性が変化することから、樹状突起方向へ逆伝搬したNa spike が樹状突起内のCa 濃度上昇を引き起こし、後シナプス部位での可塑性を引き起こしている可能性が示唆された。(図1)

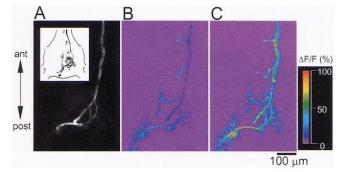


図 1 尾葉神経東刺激に伴う giant interneuron"10-2"内の Ca 応答 A: giant inteneuron "10-2"の共焦点レーザ顕微鏡像(背側) B、C:細胞体と同側の尾葉神経束にテタヌス刺激を与えたときの Ca²⁺応答を示す疑似カラーイメージ。(B は刺激開始から 5.9 秒後、C は 29.5 秒後のイメージ)

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) ニューラルネットに使用する新規単一ニューロンモデルの開発
- 2) 自己組織的学習型ニューラルチップへの応用

特許出願

なし

報告書他

- 1) Physiological basis of earthworm ventral nerve cord. I. Heterogeneity of cellular mechanisms underlying calcium mobilization in the median giant fiber. Ogawa H., Oka K., Bioimages 4: 137-147(1996).
- 2) Physiological basis of earthworm ventral nerve cord. II. Charcterization of glutamate receptor subtypes. Oka K., Ogawa H., Bioimages 4: 149-156(1996).
- 3) Dendritic Ca²⁺ response in cercal sensory interneurons of the cricket *Gryllus bimaculatus* Ogawa H., Baba Y., Oka K., Neurosci.Lett.219: 1-4(1996).
- 4) ミミズ giant fiber における Ca2+波. 小川宏人、岡浩太郎「生体の科学」47(2):140-145(1996).

〔研究者名〕小川 宏人、岡 浩太郎、馬場 欣哉

8. 飛翔昆虫の呼吸機序

マルハナバチ及びエビガラスズメガを用いて、電気化学的手法により筋肉内の酸素分圧 を計測し、呼吸特性の検討を行った。

研究成果の概要

昆虫が用いている呼吸機序を解明するために、各々異なる機構により換気流を生成するエビガラスズメガ、及び、マルハナバチを試料とした。

エビガラスズメガを用いた計測系を模式的に図1に示す。酸素分圧の計測は、クラーク型微小酸素電極を直接試料の胸部飛翔筋に刺入することで行った。同時に、熱電対により胸部温度、CCDカメラにより運動状態を記録した。

典型的な飛翔時の結果を図2に示すが、図は酸素分圧、胸部温度、羽ばたきの振幅、及び、上死点、下死点に対応する。飛翔により筋組織内の酸素分圧は速やかに減少し、10~20秒後に増加し始め、約1分後には安静時と同じレベルまで回復した。エビガラスズメガは独立に呼気、吸気を生成する器官を持たないため、運動時の換気流は飛翔筋の筋収縮により気管を変形させることにより行う。

従来の理論では、直径 1mm 以下の管内では輸送効率を 向上させることは困難と考えられていたが、昆虫が用い ている手法では数十倍に増加する酸素消費量を十分に賄 うことが可能であることが示された。また、マルハナバチ

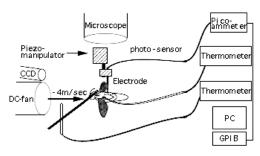
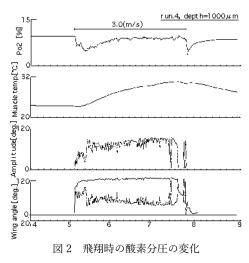


図1 実験系の模式図



では別の機構により運動時の物質輸送を用いるが、エビガラスズメガと同様に極めて高い 物質輸送効率が得られた。

本研究では理論的な解明を行うには至らなかったが、実験的に昆虫が用いている呼吸機 序の特性を解明することに成功した。

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 微小酸素電極により、昆虫を含む生体力で酸素輸送の解明
- 2) マイクロリアクター内での反応基質の輸送効率の向上

特許出願 なし 報告書他 審査中

〔研究者名〕駒井 豊

9. はばたき音による空力荷重測定法の開発

昆虫のはばたき音を測定することにより、翼に働く荷重を推定する方法を研究した。

研究成果の概要

昆虫のはばたき運動の周波数は 10Hz~1000z と大きく、その飛行には非定常空気力の役割が大きいことが知られてきた。ところが、微小な翼に働く変動空荷重を計測することは極めて難しい。本研究では昆虫の羽音を精度良く計測することにより、この変動空力荷重を推定する可能性を見い出した。(図 1、図 2)

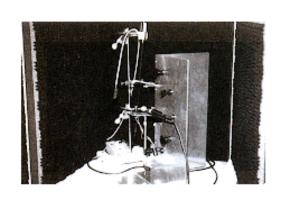


図1 はばたき音計測装置

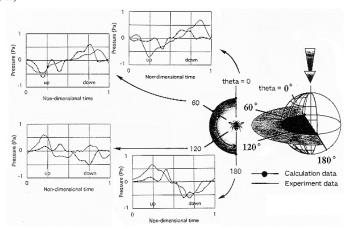


図2 近距離場音と計測値

成果展開可能なシーズ、用途等

1) はばたき音による翼面上荷重の推定法

特許出願

なし

報告書他

- 1) "SOUNDS OF INSECTS FLIGHT" Masako Sakayanagi, Takesi Ohnuki, and Keiji Kawachi, Proceedings of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan Third Joint Meeting (1996)315-316.
- "Sound Generation by Fluttering Wings" T.Ohnuki, M.Sakayanagi, and K.Kawachi, Proceedings of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan Third Joint Meeting (1996)

〔研究者名〕阪柳 昌子、大貫 武

10. PIV 法による昆虫飛翔機構の空気力学的解析

Particle Image Velocimetry 法を微小物体まわりの流れの計測に拡張し、昆虫の羽に働く非定常空気力発生のメカニズムを調べた。

研究成果の概要

PIV 法はレーザシートを用いてメートルサイズの物体まわりの任意の平面における流速分布を同時多点計測できる実験法である。本研究ではこの方法の精度を高めてミリメートルサイズの物体まわりの流れに適用可能にし、昆虫の羽のまわりの流速分布を計測するとともに、図 1 に示すようにレーザシートを用いてはばたき運動をしている透明な昆虫の羽の任意の翼断画の形状変化を可視化、記録する方法を開発した。

この方法により図 2 に示すように、トンボの羽は打ちおろしと打ちあげで羽のねじり角を大きく変化させるばかりでなく、羽の反りを正から負へ変化させて、打ちおろし中には重力に対抗する上向きの空気力を、打ちあげ中には前進方向の空気力を発生させるのに適した翼型を形成していることが明らかになった。また前縁に安定した強い剥離渦が観測され、これが大きな非定常空気力発生のメカニズムと強い関係があることが示された。

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 新しい非定常流体力発生メカニズムの解明
- 2) 微小物体まわりの非定常同時多点流速測法
- 3) 高性能微小翼運動メカニズムの確立

特許出願

なし

報告書他

- 1) J.Weygandt, K.Kawachi, and T.Ohnuki "Flow Analysis of Mechanicaly Simulated Dragonfly Hovering Flight Using Particle image Velocimetry", Proc. of 48th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics of the APS, Paper NO, EK7, 1995.
- 2) J.Weygandt, T.Ohnuki, and K.Kawachi "PIV Techniques for the Analysis of Live Tethered and Mechanically Simulated Dragonfly Flight" Proc. of 1st Pacific Symp. on Flow Visualization and Image Processing, PP 610-614, 1997.

〔研究者名〕James H.Weygandt

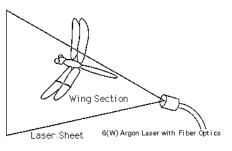


図1 レーザシートによる翼断面の可視化

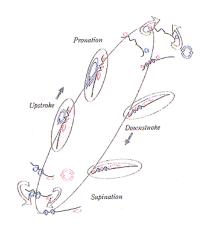


図2 トンボの翼断面の変動と周辺の流れ

11. 毛状翼特性の解明

微小昆虫に見られる毛状翼の空気力学的特性を解明した。

研究成果の概要

我々がよく見かけるトンボやチョウ、ハチ、蚊などの昆虫の羽は、レイノズル数が1,000の領域で作動しているが、レイノルズ数10°~10の領域で羽を動かす微小昆虫の中には、図1に示すような、支柱と毛でできた特殊な形状を持った羽を持っているものが見られる。高速度ビデオを用いてアザミウマのテザード飛行と自由飛行を観察・解析した結果、昆虫に普通に見られる膜翼と全く異なった形状にもかかわらず、アザミウマは毛状翼をアブやハチの羽とほとんど同じように動かしており、また図2に示すように羽のストローク面に直角方向の空気力、すなわち揚力を用いて飛行していることが明らかになった。さらにグリセリン中で毛翼を運動させて、毛状翼に働く流体力を毛の間隔と毛の直径の比を変化させて計測し、流体力発生のメカニズムを明らかにした。

図1 アザミウマの翅

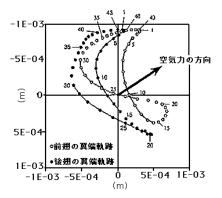


図2 発生した空気力の方向

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 微小機械の推進装置
- 2) 微小ポンプの動翼
- 3) 化学プラント等の微小翼

特許出願

なし

報告書他

- 1) 大貫 武、河内 啓二 "昆虫に学ぶマイクロメカニックス" 応用物理、Vol.64、No.8、 PP822-825、1995
- 2) 松本 有史、砂田 茂、河内 啓二 "毛翼に働く流体力の測定" 日本機械学会 第 10 回 バイオエジニアリング講演会、1998

〔研究者名〕田中 信吾、砂田 茂