

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21656120

研究課題名（和文） バイオルミネッセンスによる流体の応力分布計測法開発への挑戦

研究課題名（英文） Bioluminescence-based imaging technique to measure fluid stresses

研究代表者

渡部 靖憲 (WATANABE YASUNORI)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：20292055

研究成果の概要（和文）：

この研究は、力学的刺激に対して発光する体長約数十 μm 程度の微生物を計測メディアとして流体中に混入し、微生物の発光分布から流体にはたら流体力分布を算定する計測法を開発するものである。短時間に主応力が変化する衝撃動圧力下において、最大圧力、力積は平均最大発光強度と高く相関し、また剥離を伴う振動流境界層内のせん断力分布と発光強度の統計量もまた相関する。決定した線形較正式からこれら流体力を決定できる。

研究成果の概要（英文）：

The dinoflagellate *Pyrocystis lunula* emits light in response to water motion. The statistical features of the bioluminescence, emitted by *P. lunula*, owing to dynamic impact pressure and shear stress in oscillatory boundary layer flows over ripped bed were studied with the aim to develop a new imaging technique for measuring fluid stresses, pressure and shear, using plankton that emit light in response to mechanical stimulation. Since the flash intensity correlated with the both impact pressure and fluid strain rate, the instantaneous planar distribution of the fluid stresses can be estimated from video images of the bioluminescence in a fluid region by using the empirical relation determined in this study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	0	2,000,000
2010年度	600,000	0	600,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	150,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：海洋科学, 水工水理学, 計測工学

1. 研究開始当初の背景

下村博士によるノーベル化学賞の受賞研究の基礎となったクラゲ生物発光について広く報道され知られるようになったが、海洋学、水産学では、外的刺激に対して発光する海生生物がチョウチンアンコウやホタルイカな

どの大型生物から植物プランクトンなど微生物に至るまで多数存在することは知られていた。本研究で流体力の計測メディアとして対象とする渦鞭毛藻類のプランクトンについても、照度、水質さらに力学的刺激に応答した BL について、研究が行われている

ものの、それら殆どは生物学的見地から発光原因の解明の目的に主眼が置かれたものであり、BLを利用して逆に力学的応答を計測しようとする試みは近年になっていくつかの報告があるのみである。この方法の本質的難しさは発光特性を決定するファクターである圧力・せん断力変動速度など力学的パラメータの応答だけでなく、水温やバイオリズムなど生物学的要素が未解明であることであり、何れの研究も定性的な力学的傾向を示すことのみで終わっている。

2. 研究の目的

本研究は、動圧力及びせん断力の変化に応答して発光する植物プランクトンのBioluminescence(生物発光、以降BL)の光学的特性を統計的に明らかにし、流体力計測メディアとして流体中に多数のプランクトンを混入した(図1参照)それらのBLにより空間的応力分布を取得するための画像計測システムを構築すると共にその精度及び信頼性を検証し、現在国内外で存在しないBLによる流体中の流体力分布の画像計測システムを開発し実用化へ向けた基礎を構築するものである。

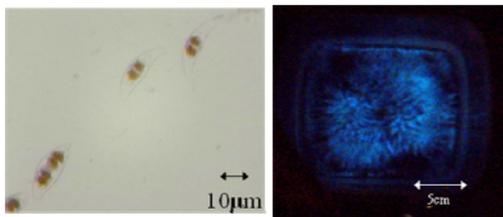


図1 *Pyrocystis lunula* (左) と力学的刺激に対する生物発光(右)。

3. 研究の方法

本研究の最終目標は、植物プランクトンのBLを計測メディアとして、流体研究関連分野のみならず産業及び工学において実用可能な液体流れ中の応力分布計測法を確立し、既存の流速分布画像計測法と統合することで、圧力、せん断力と流体にはたらく応力を同時に計測し得る極めて独創的かつ画期的な計測技術となる流体力画像計測システムを構築することである。以下の要素研究を統合し最終目標の達成へ向けた計測学的基礎を構築する。

(1) 動圧力変動によるBL統計評価

落錘型衝撃力試験機により、発光する渦鞭毛藻 *Pyrocystis lunula*(PL)の静水中での動圧力及び加重速度に対するBLの時空間変化を画像計測し(図1参照)、これと同期した動圧力センサーとの比較により発光特性と動圧力との関係を取得する。これらの水温、個体数密度及びバイオリズムとの関係を統計的

に評価し、その発光確率分布を決定するとともに不確定性を見積もる。

(2) せん断力によるBL統計評価

PLを既存の振動流装置内の液体に混入させ、底面せん断層内のせん断力とBLの時空間変化との関係を画像計測によって取得し、現有の超音波流速計によって計測された流速分布を基に与えられたせん断応力分布との比較から、その応答性、水温と生物学的パラメータとの関係を統計的に評価しその不確定性を見積もる。

4. 研究成果

(1) 動圧力変動によるBL統計評価

渦鞭毛藻類 *Pyrocystis lunula*(PL)を計測メディアとして透明耐圧容器に水と共に封入し落錘型動圧力試験機上で種々の動圧力及び加重速度、加重繰り返し数に対するBL強度及びBL継続時間について代表者及び大学院生により画像計測を行った。この画像計測において、カメラと同期した動圧力計によって同時計測された水圧と比較し、BLの応答の統計量を基に精度や信頼性を明らかにすると同時に最適較正值を取得した。水圧に対するケーススタディを通して、最大動圧力が発光強度をもって一意に決定可能なこと(図2参照)、また動圧力に対する発光確率の時空間変化と生物パラメータ(個体数、水温、バイオリズム)との基礎的關係が明らかになった。

これらにより、バイオリズムを通じた最適計測時刻並びに培地交換時期を統計的に与えた。また、バイオリズムや生育環境に依存する微生物の発光ポテンシャルが指数分布で与えられ、力学的刺激に対する発光確率が正規分布で近似できることを明らかにし、これらの条件的確率分布によって、生物パラメータを含む発光確率を決定可能であることを解明した。

これらの成果は、国内の海岸工学の専門誌である海岸工学論文集、及び国際的な流体計測の専門誌であるExperiments in Fluidsで出版された。

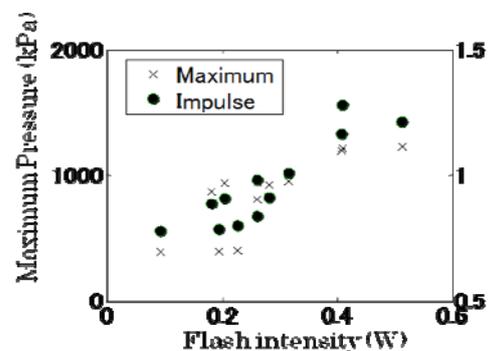


図1 最大動圧力と発光強度の関係

(2) せん断力による BL 統計評価

同一のプランクトン PL を現有の振動流装置内に流体に混入し、底面境界層近傍のせん断力と発光確率の時空間変化、および生物パラメータとの関係を調査した。せん断流中における BL の時空間変化を定量的に計測し、圧力、せん断力あるいは法線応力、接線応力の分離評価の可能性を調査した。また、底面の粗度や形状によるせん断力変化についてのパラメータスタディを行った。計測された BL 変化は、現有の Ultrasonic Velocity Profiler (UVP) によって計測した流速分布及び解析解から与えられるせん断力との比較から精度や不確実性並びに最適較正值が決定された。また、生物発光応答とバイオリズム、細胞分裂周期との関係を調査した。

BL 発光統計量は、既に開発済みである面的流体運動計測法である Super Resolution Particle Imaging Velocimetry (SRPIV) によって、得られた流体の歪、乱流統計量との関係を調査した。BL 強度分布は流体の歪に高く相関し(図 3 参照)、乱れエネルギーとは剥離イベント発生時のみ相関する。即ち、これは振動流境界層内の一連のイベントを通して、流体せん断力と BL 強度分布が高い相関をもつことを意味し、BL 分布の画像計測によりせん断力の面的分布を推定可能であることが明らかになった。

これら一連の成果は、土木学会論文集 B2 (海岸工学), 国際海岸工学会議プロシーディングスに掲載された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① Yasunori Watanabe, Jun Sakai, Yuta Mitobe, Yasuo Niida, Bioluminescence imaging for measuring fluid shear distributions, 33rd Proc. Int. Conf. Coastal Eng. in press, 査読有
- ② Yasunori Watanabe, Yasufumi Tanaka, Bioluminescence-based imaging technique for pressure measurement in water, Experiments in Fluids, 51, 225 - 236, DOI: 10.1007/s00348-011-1043-0, 2011, 査読有
- ③ 渡部靖憲, 岩下厚志 (2011) 気液二相流の界面力学的境界条件適合スキームの開発と風波生成過程への応用, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 67 (2), I_16 - 20
- ④ 渡部靖憲, 但木慎治, 山田朋人 (2011) 雨滴の海面への着水に伴う海面過程, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 67 (2), I_61 - 65
- ⑤ 渡部靖憲, 坂井純, Bioluminescence によ

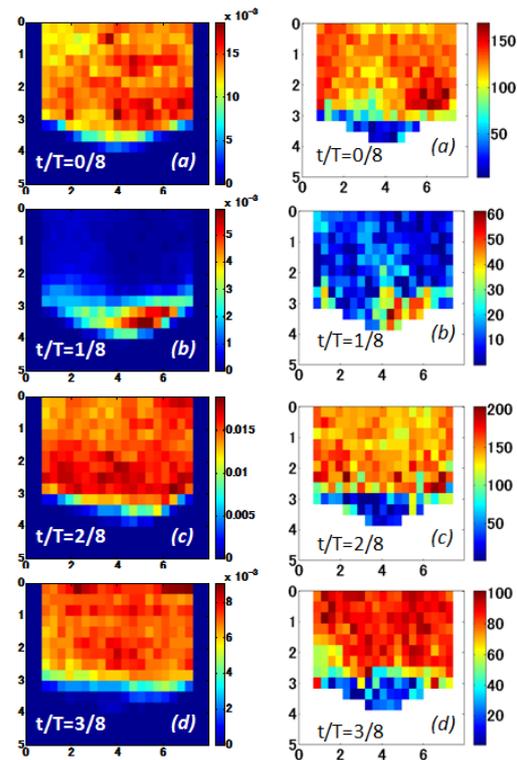


図 3 流れに応じて変化する発光強度分布 (左) と相関する流体歪率の絶対値の分布 (右) の一例

る振動流せん断乱流計測, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 66, 71-75, 2010, 査読有

⑥ Watanabe Y., Mitobe Y., Niida Y., Saruwatari A., Application of LES-stochastic two-way model to two-phase boundary layer flows, Proc. 32th Int. Conf. Coastal Eng., online (2010)

⑦ 渡部靖憲, 石崎真一郎, 新井田靖郎, 越波ジェットの波峰方向不安定とフィンガージェットの形状遷移, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 66, 76 - 80 (2010)

⑧ Watanabe Y., Ishizaki S., Spray size distributions at flip-through wave overtopping, Proc. Coastal Dynamics 2009, CDROM (111) (2009)

⑨ 渡部靖憲, 石崎真一郎, 越波ジェットのフィンガー化と飛沫への分裂過程, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 65, 11 - 15 (2009)

⑩ 渡部靖憲, 三戸部祐太, 固体・液体表面の 3 次元形状計測法の開発, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 65, 1466 - 1470 (2009)

⑪ 渡部靖憲, 新井田靖郎, 猿渡亜由未, 佐伯浩, ジェット下の気泡混入・輸送過程の確率モデル, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 65, 6 - 10 (2009)

⑫ 渡部靖憲, 田中康文, 坂井純, Bioluminescence による流体衝撃圧計測法, 海岸工学論文集, 56, 831-835, 2009, 査読有

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 渡部靖憲，生物発光を利用した面的流体
力計測，可視化情報シンポジウム（可視
化情報学会），工学院大学（東京都），
2011 年 7 月 18 日

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡部靖憲 (WATANABE YASUNORI)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：20292055

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：