

日 本 大 学 工 学 部 紀 要

第 55 卷 第 1 号

平成 25 年 9 月

日 本 大 学 工 学 部
工 学 研 究 所

目 次

工 学 編

フロント・トラッキング法を用いた気泡クラウドキャビテーションの数値シミュレーション	彭 國義・清水 誠二・Gretar TRYGGVASON (1)
ランダムサーチ PSO の提案と評価	高橋 勇太・岩井 俊哉 (7)

総合教育編

男性中高年ボディイメージに関する研究 — 運動習慣を予測するボディイメージ関連要因の検討 —	種ヶ嶋 尚志・遠藤 俊郎・小山 勝弘 (13)
--	-------------------------

工 学 編

フロント・トラッキング法を用いた気泡クラウド キャビテーションの数値シミュレーション

彭 國義*, 清水誠二*, Gretar TRYGGVASON**

Numerical Simulation of Bubble Cloud Cavitation with a Front-Tracking Method

Guoyi PENG, Seiji SHIMIZU and Gretar TRYGGVASON

Abstract

Unsteady bubble cloud cavitation phenomenon caused by negative pressure pulse has been treated numerically by applying a front tracking method. The expanding and contracting behavior of bubble cloud is evaluated by tracking the motion of all bubble interfaces and the result qualitatively agrees to the experimental data given by Bremond et al. (Phys. Rev. Lett., 2006). Numerical investigation demonstrates that: (1) In the collapsing of bubble cloud micro liquid jets toward the inner bubbles are formed while the outer layer bubbles contract extremely, and then a high impact pressure is released when the inner central bubble contacts to its minimum. (2) The oscillation of bubble cloud depends upon the void fraction greatly. In the case of high void fraction, the frequency of cloud oscillation is lower than that of individual bubble and the decay of the oscillation becomes much slowly also.

Key words : Multiphase flow, Cavitation, Bubble dynamics, Direct numerical simulation

1. 緒 言

キャビテーションとは、液体の圧力低下によって液体中に含まれるごく微小な「気泡核」が急激に膨張して多数の小さな気泡が生じる流れ現象であり、キャビテーション気泡が周囲の液体に圧縮されて急激に崩壊する際に気泡内部及び界面近傍に一瞬に数千気圧千度に達する高压高温の場が生じる。キャビテーション気泡が崩壊する際に生ずる高い衝撃圧力を有効に利用するため、水中ウォータージェット装置などが開発され、幅広く応用されている¹⁾。また、医療の分野でも微細気泡を用いた非侵襲医療の研究が行われ、微細気泡と強力集束超音波を組み合わせた治療法の例として、気泡から放射される強い音響エネルギーを利用した血栓溶解法、遺伝子導入法、腎臓結石破碎法などが挙げられる²⁾。このような応用においては、微細気泡振動の挙動や衝撃圧力の予測が重要となるが、数多くの微細気泡を含むキャビテーション流れの内部を直接観察するこ

とが難しく、キャビテーション流れの構造、気泡・液体と気泡・気泡間の相互作用は未だ十分に理解されていない。そのため、CFDの発展とともに、キャビテーション流れの数値解析は様々な立場から研究され、各種解析手法が提案されている。これらの手法を大別すると直接解法³⁾⁻⁵⁾と混合流モデリング解法⁶⁾⁻⁸⁾に分類される。キャビテーション流れの連続性モデリング解法は着目点によって計算モデルが異なるが、基本的に個々の微細気泡の界面を追跡しないので、気泡間および気泡・液体間の相互作用を精確に考慮することは難しく、キャビテーション気泡が崩壊する際に生じる高い衝撃圧力の予測も難問の一つになっている。

この背景の下で、本研究では、キャビテーション気泡の振動および相互作用に着目し、フロント・トラッキング法を用いて気泡クラウドキャビテーションの数値シミュレーションを行い、気泡界面の振動およびキャビテーションによる衝撃圧力の伝播を考察した。任意に配置された気泡クラウドにネガティブ圧力パルスをかけてキャビテーションを発生させ、気泡界面の挙動および気泡クラウドの膨張・収縮を追跡して気泡間の相互作用と気泡が崩壊する際の連鎖作用を調べ、クラウドキャビテーションが発生する際の衝撃圧力の予測を検討した。

平成25年5月31日受理

* 日本大学工学部機械工学科

** アメリカ

ノートルダム大学工学部航空・機械工学科

2. 数値計算手法

気泡クラウドのキャビテーションが発生する際の気泡界面の挙動を追跡し、気泡と気泡および気泡・液体間の相互影響を考慮するため、G. Tryggvason らが提案されたフロント・トラッキング法⁴⁾を用いて気泡核を含む液体との気液混相流の直接数値シミュレーションを行う。流体の物性値について、(1) 気泡中に含まれた気体成分は、気泡が急激に膨張・収縮するときその密度が理想気体のようにバロトロピー的に変化するが、気泡周辺の液体成分はその密度の変化が無視できる、(2) 気泡中気体の圧力分布はほぼ一様である、(3) 液体の蒸発と気体の凝縮は十分小さいと仮定する。このような気液混相流の支配方程式は重力と界面張力を考慮したナビエ・ストークスの式であり、下記に示す。

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu(\nabla \mathbf{u} + \nabla^T \mathbf{u})] + \rho \mathbf{f} + \mathbf{F}_\sigma \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{u}$, p は流れの速度と圧力、 ρ , μ は流れ場で不連続に変化する流体の密度と粘度を示し、 $\mathbf{f}$ は混合流体に働く体積力である。 $\mathbf{F}_\sigma$ は気泡界面に働く界面張力を示し、フロント・トラッキング法により次式で求める。

$$\mathbf{F}_\sigma = \sigma \int_F \kappa_f \mathbf{n}_f \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_f) dA_f \quad (2)$$

ここで、 σ は界面張力係数、 $\mathbf{x}_f$ はフロント界面要素 dA_f の位置、 κ_f は界面での曲率、 $\mathbf{n}_f$ は界面法線方向単位ベクトルを示す。 δ は気液界面に関する空間デルタ関数である⁴⁾。フロント界面を追跡するため、マーカー関数 $I(\mathbf{x})$ を用いて液体 ($I(\mathbf{x})=0$) と気体 ($I(\mathbf{x})=1$) を表し、フロント界面での急激変化を考慮したポアソン方程式を解いてマーカー関数の分布を求める。また、式 (1) を閉じるために液体領域では次式の連続式を用いる。

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (3)$$

気体の領域では、比較的小さな気泡内部圧力の変化を無視し、気泡に含まれる気体を理想気体として取扱ひ、個々の気泡内部での圧力を下記の状態方程式で定義する。

$$(p_g / p_{g0})_i = (V_{g0} / V_g)_i^k \quad (4)$$

ここで、 k は気泡に含まれる気体の断熱指数、 p_g は気泡内部圧力、 V_g は気泡の体積であり、添え字 0 は初期状態、 i は任意の気泡を示す。気泡内部および気液界面での速度は液体領域と連成して式 (1) で求める。上記方程式の離散化にはスタガード格子に基づいて空間的には2次精度の中心差分、時間的には一次精度前進差分スキームを用いる。また、圧力ポアソン方程式のソルバーとしてSOR法を採用する。

図1に本研究で用いた開放型の直角計算領域 ($5 \times 5 \times 2.5$) を示す。気泡流の一部を想定した計算領域内には任意に配置した気泡クラウドが含まれ、境界面は全て流体

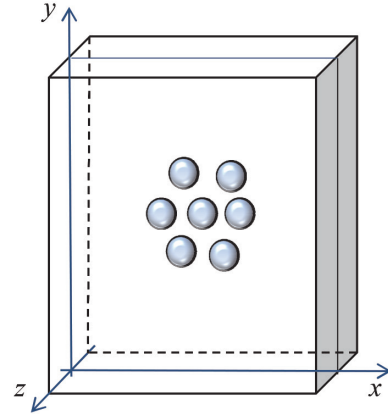


Fig.1 Sketch of computational domain

境界である。境界条件として、 x と y 方向では左右と上下の境界面に圧力条件を与え、 z 方向では (三次元解析の場合) 前後の境界面に周期条件を適用する。気泡クラウドのキャビテーションを引き起こすため、左右と上下の境界面に次式で示す圧力パルスを与える。

$$p_m = \begin{cases} p_{L0}[1 - \sin(\pi t / T_0)], & t \leq T_0 \\ 0 & t > T_0 \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 P_{L0} と T_0 は正弦波圧力パルスのパラメータである。本研究では、流れ場の初期圧力を P_{L0} に設定し、圧力パルスの最小値は0となる。数値計算では、基準長さと基準時間によって無次元化を行い、各パラメータに無次元化の値を与える。

また、ボイド率は、気泡クラウドの物理パラメータの一つであり、クラウドに含まれる気体の割合で定義され、次式で示す。

$$\alpha = \frac{3 \int I(\mathbf{x}) dV}{4\pi R_c^3} \quad (6)$$

ここで、 $\mathbf{x}$ は微小体積 dV の座標ベクトル、 R_c は気泡クラウドの等価半径である。

3. 数値計算結果

図2 (a) ~ (i) に例として、対称的に配置した7つの気泡で構成される気泡クラウドがネガティブ圧力パルスに刺激されて膨張・収縮する応答特性を時系列で示す。図2 (a) には気泡クラウドの初期状態を示し、気泡の半径 R_{b0} は0.1、気泡クラウドの等価半径 R_c は0.65、気泡クラウドのボイド率 α_0 は18.2%である。流れ場の初期圧力 $P_{L0} = 4$ 、気泡内部圧力は気泡界面を介して液体圧力と釣り合っている。この静止気泡クラウドに式 (5) に示す半周期 $T_0 = 2.5$ のネガティブ圧力パルスを作用すると、気泡クラウドが徐々に膨張し、図2 (b) に気泡クラウドが最大に膨張したときの流速ベクトルと圧力分布および気泡界面の位置を示す。外側向けに速度ベクトルが示され、全ての気泡が膨張して

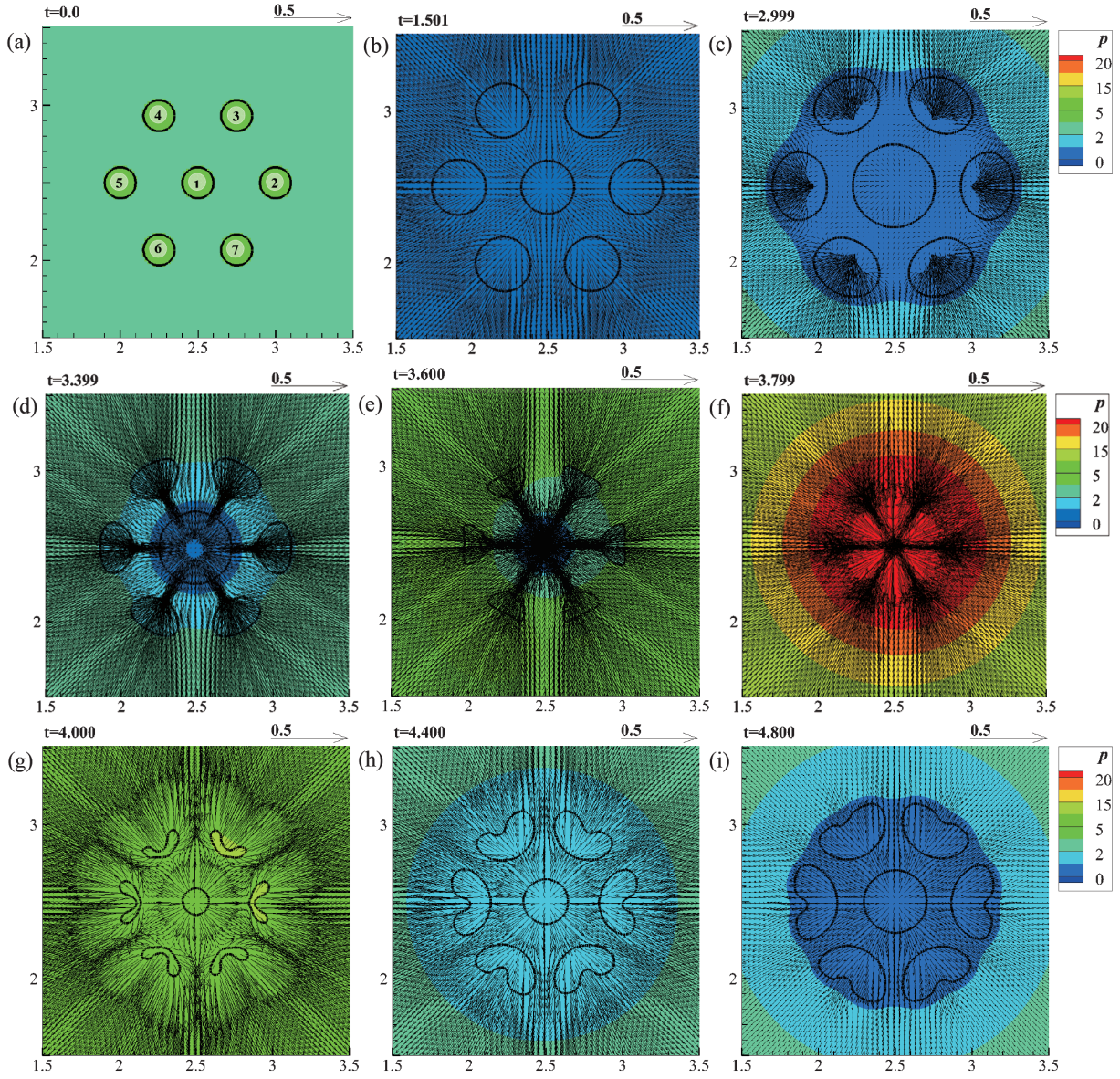


Fig. 2 Expansion and collapse of a bubble cloud ($R_{b0}=0.1$, $R_{c0}=0.65$, $\alpha_0=0.182$) responding to a negative pressure pulse:
(a) to (i) flow distributions and the shape of bubbles at a sequence of times

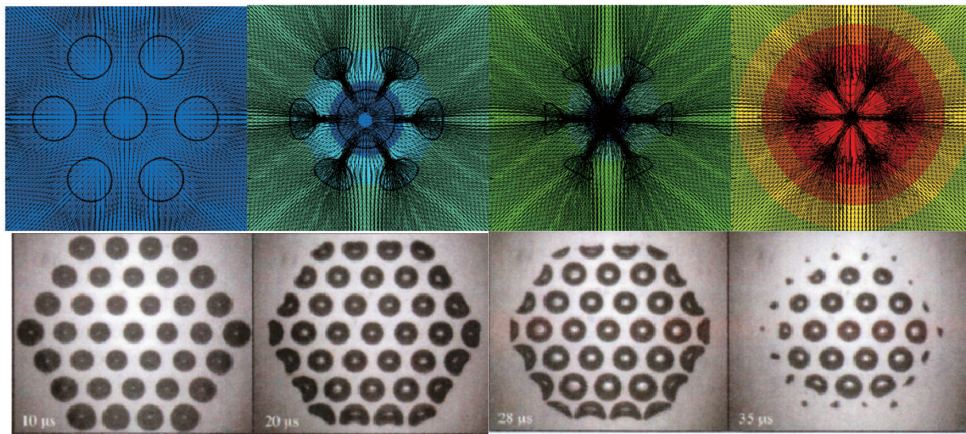
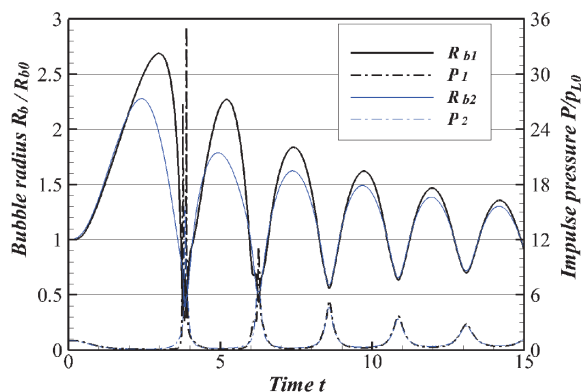
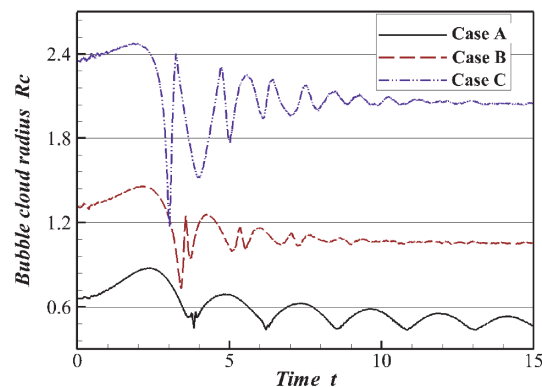


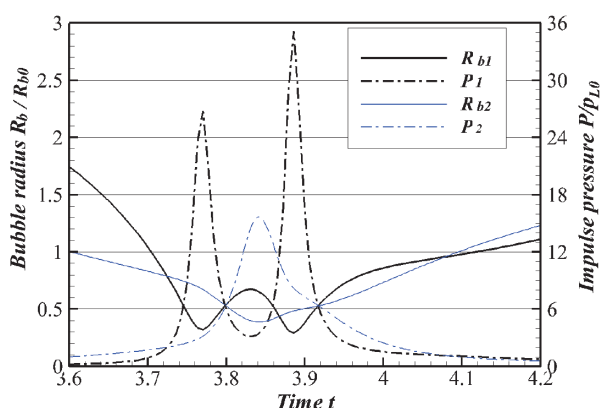
Fig. 3 Comparison of computational result (Upper) and experimental data (Lower, by N. Bremond et al. ⁹⁾)



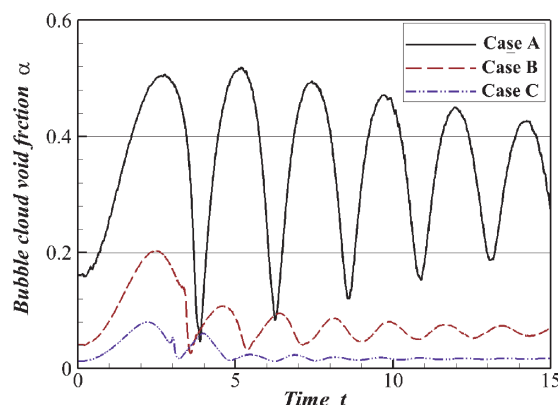
(a) Oscillation of bubble radius



(a) Temporal variation of cloud radius



(b) Impulse pressure caused by bubble collapsing



(b) Temporal variation of void fraction

Fig. 4 Oscillation of bubble radius and impulse pressures emitted at collapsing of bubble cloud

Fig. 5 Oscillation of bubble clouds in different size

いることを意味する。図 2 (c) には外層の気泡が収縮し始めたときの流れ場分布であり、クラウド外側の圧力が先に回復してクラウド外層の気泡が収縮し始まったが、中心(内層)の気泡は依然ゆっくり膨張していることが示された。図 2 (d) には外層の気泡に押されて中心の気泡も収縮し始まった様子を示す。図 2 (e) には外層の気泡が崩壊し始めたときの速度と圧力分布を示し、内層気泡の収縮は外層気泡よりやや遅れていることが示された。図 2 (f) には中心(内層)気泡が崩壊したときの速度ベクトルと圧力分布を示す。このとき、外層の気泡は小さく圧縮されて中心近くの界面から内層気泡に向かってマイクロジェットが形成されるが、中心での内層気泡が急激に最小に圧縮された瞬間、内部圧力が急上昇してリバウンドし始め、約 20 を超える衝撃圧力が放出されていることが示された。図 2 (g) ~ (i) には気泡クラウドがリバウンドする段階での速度ベクトルと圧力分布および気泡界面形状の変化を示す。図 2 (f) と比べてみると、図 2 (g) には高い衝撃圧力波が消えたので、キャビテーション衝撃圧力はその間の短時間に放出することが分かる。また、図 2 (g) により外層気泡界面の膨張速度は界面の位置によって異なることが分かる。図 2 (h) には外層と内層の気泡が共に膨張する様子が示され、

圧力波は気泡クラウドの外側へ伝播していることが分かる。図 2 (i) に示すように、気泡クラウド外側の圧力に押されて外層気泡は再び収縮し始まったが、中心の気泡はまた膨張しており、外層気泡に強く押されてから内層気泡が収縮し始まることが推察できる。

以上の結果より、ネガティブ圧力パルスに誘発された気泡クラウドのキャビテーションは、外層気泡が最小に収縮する際、気泡中心近くに収縮した界面から内層気泡に向かってマイクロジェットが形成される。クラウド中心での内層気泡が外層気泡に押されて最小に収縮する際高い衝撃圧力を放出し、リバウンドし始める。リバウンドの過程では、中心気泡は球形に回復するが、外層の気泡は馬蹄形のまま大きく膨張する。Bremond らは、レーザーに誘発された気泡クラウドキャビテーションの実験研究を行い、気泡界面の挙動を高速ビデオカメラで観察した⁹⁾。図 3 に本研究 DNS シミュレーションの結果と Bremond らの実験結果との比較を示す。実験条件の不明確と気泡配置の異なることで定量的に比較することができないが、定性的には実験での最外層の気泡はシミュレーションケースでの外層気泡と対応しており、これら気泡の振る舞いについて上記シミュレーション結果が Bremond らの実験結果と一致し、本研

究計算の手法は妥当であることと考えられる。

上記気泡クラウドのキャピテーションについて、図4 (a) に気泡クラウドに含まれる気泡の半径および気泡内部圧力の時間的变化を示す。ここで、黒い実線と破線はクラウド中心での気泡1の半径 R_{b1} と内部圧力 P_1 を、青い実線と破線は外層での気泡2の半径 R_{b2} と内部圧力 P_2 を表す。外層での気泡2～7は中心気泡に対して対称に配置されているので、これら気泡の膨張・収縮は同調してほぼ一様である。また、外層での気泡と比べると、内層気泡の収縮し始まる時間は遅れているが、気泡が最小に圧縮されてリバウンドし始まる時間はほぼ同じである。ゆえに、内層気泡はより大きく膨張して、より早く収縮するので、内層気泡から高い衝撃圧力が放出される。図4 (a) に時間 $t \cong 3.8$ 前後黒い破線で衝撃圧力のピークが二つ示されているが、気泡間の相互影響がはっきり見えないので、図4 (b) に局所拡大図を示す。黒い破線で示す圧力の変化を見ると、 $t \cong 3.9$ 前後約 0.02 の時間でおおよそ初期圧力の 30 倍を超える衝撃圧力が放出されていることがわかる。図4 (b) に実線で示す気泡サイズの変化を見ると、黒い実線で示す中心での気泡は青い実線で示す外層気泡より早く最小に収縮し、一回目の衝撃圧力が放出してリバウンドし始まるが、すぐに収縮中の外層気泡に遮蔽されて再び収縮する。外層の気泡は内層気泡に押されて膨張し始まるが、内層の気泡はそのまま最小に収縮してより高い衝撃圧力が放出される。このように、気泡クラウドが崩壊する際外層気泡の遮蔽作用によって高い衝撃圧力が複数回放出することは気泡クラウドキャピテーションの特徴の一つだと考える。

気泡クラウドのボイド率とサイズの影響について、図5 に異なる気泡クラウドの振動特性を示し、図5 (a) には気泡クラウドの等価半径 R_c 、図5 (b) にはボイド率 α の時間的变化を示したものである。ここで、Case A は図2に示す気泡クラウドであり、Case B と Case C は Case A と同様な気泡で外層気泡2～7の配置円半径 R_A を $5R_{b0}$ から順次 $6R_{b0}$ 、 $10R_{b0}$ に増加したものである。これら気泡クラウドに含まれる気泡は同じであるが、気泡間の距離は大きくなったため、初期気泡クラウドの半径は順次増加し、ボイド率は順次減少する。図5 (a) に示すように、気泡クラウドのサイズが大きくなると、クラウド半径 R_c の振幅は大きくなるが、その減衰は早くなる。また、気泡の配置によって気泡間の相互作用が異なり、気泡クラウド膨張・収縮の周波数も変わる。Case C では個々の気泡は十分離れて配置しているから、気泡間の相互作用は弱く、気泡クラウド半径 R_c の振動はシングルバブルの振動に相似している。Case A では、気泡間の距離は小さく、気泡の振動は相互に強く影響され、気泡クラウド半径 R_c の振動の周波数はシングルバブルより大きく低下することが示された。ただ、Case A では、 $t \cong 3.9$ 前後相対的に不規則の高周波数微小振動が示され、高ボイド率の気泡クラウドの中では気泡間の強い干渉が発生していることを示唆したものだと考える。図5 (b) に示すように、気泡クラウドのボイド率の増加にしたがって、ボイド率の振幅は大きくなり、その減

衰は遅くなる。よって、気泡クラウドの振動はボイド率に大きく影響され、ボイド率が低い場合は個々の気泡がそれぞれの固有周波数で振動するが、ボイド率が高い場合は気泡間の干渉が強く、気泡クラウド振動の周波数は個々の気泡の固有周波数より低くなり、その振幅の減衰は遅くなる。

5. 結 論

本研究では、フロント・トラッキング法を用いて気泡クラウドキャピテーションの直接数値シミュレーションを行い、定性的に実験データと比べてその妥当性を確認した。計算結果より以下の結論をまとめる。

- (1) ネガティブ圧力パルスに誘発された気泡クラウドのキャピテーションは、外層気泡が最小に収縮する際、外層気泡中心近くの界面から内層気泡に向かってマイクロジェットが形成される。中心での内層気泡は最小に収縮する際、外層気泡に遮蔽されて気泡間の干渉によって高い衝撃圧力を複数回放出することがある。
- (2) 気泡クラウドの膨張・収縮はボイド率に大きく影響され、ボイド率が低い場合は、個々の気泡がそれぞれの固有周波数で振動するが、ボイド率が高い場合は気泡間の干渉が強くなり、気泡クラウド振動の周波数は個々の気泡の固有周波数より低くなり、その減衰時間は長くなる。

謝 辞

本研究成果は、「日本大学海外派遣研究員（中期）」制度による援助の下でアメリカ・ノートルダム大学において行われた研究をまとめたものであり、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) H. Soyama and O. Takakuwa: Enhancing the aggressive strength of a cavitating jet and its practical application, *J. Fluid Science & Tech.*, 6, pp.510-521. (2011)
- 2) 松本洋一郎：流体工学の医療分野への展開（超音波を用いた診断・治療統合システム），日本機械学会論文集（B編），77 巻 782 号，pp.1-11 (2011)
- 3) S. Unverdi and G. Tryggvason: A front-tracking method for viscous, incompressible, multifluid flows, *J. Comput. Phys.*, 100, pp.25-37 (1992)
- 4) G. Tryggvason et al.: A front tracking method for the computations of multiphase flow, *J. Comput. Phys.*, 169, pp.708-759 (2001)
- 5) 大山峻幸ら：フロント・トラッキング法を用いた自由表面と鋼体壁における単一気泡の反発現象の解析，*混相流*，26 巻 1 号，pp.60-67 (2012)
- 6) D. Fuster and T. Colonius: Modelling bubble clusters in compressible liquids, *J. Fluid Mechanics*, 688, pp.352-389 (2011)

- 7) G. Peng, Shimizu and S. Fujikawa: Numerical simulation of cavitating water jet by a compressible mixture flow method, *J. Fluid Sci. & Tech.*, 6(4), pp. 499-509 (2011)
- 8) A. Kubota, H. Kato and H. Yamaguti: A new modeling of cavitating flow: A numerical study of unsteady cavitation on a hydrofoil section, *J. Fluid Mech.*, 240, pp.59-96 (1992)
- 9) N. Bremond, M. Arora, C.-D. Ohl, and D. Lohse: Experiment of multi-bubble surface cavitation, *Phys. Rev. Lett.*, 96, 224501, pp.1-4 (2006)

ランダムサーチ PSO の提案と評価

高橋 勇太* 岩井 俊哉**

Proposal of Random Search PSO and its Evaluation

Yuta TAKAHASHI and Toshiya IWAI

Abstract

The particle swarm optimization (PSO) that is an optimization algorithm using the swarm intelligence can search quickly an optimum solution for easy problems. On the other hand, PSO has such a weak point as to converge early on a local optimum solution for difficult problems. In order to overcome the weak point many variants of PSO is devised by getting widely searching ability in the search space. In this study, we propose a variant of PSO by adding random walk particles to ordinary particles of PSO to get high searching ability. We call the proposed method “random search PSO”. By comparing with results from PSO, DMS-PSO and the random search PSO, the searching efficacy of the random search PSO is investigated. As a result, it is found as follows. (i) The random search PSO has better searching efficacy than PSO. (ii) The random search PSO does not converge on local optimum solutions earlier than both PSO and DMS-PSO. (iii) DMS-PSO has better searching efficacy for such difficult problems as optimal problems of functions with the dependence among variables than the random search PSO.

Key words : 群知能, PSO, 最適化問題, ランダムサーチ.

1. まえがき

Particle Swarm Optimization (以下 PSO と略記) とは, 1995 年に Kennedy ら [1] [2] が提唱した群知能の一種であり, 鳥などの群れの運動を模倣した最適化アルゴリズムである。PSO では, 群れの構成員である複数の粒子が互いに情報を共有しながら多次元空間内の最適位置である解を探索する。PSO は群全体で素早く情報を共有するために簡単な問題では速く解を探索できるが, 難しい問題に対しては局所解に収束しやすい欠点がある。その問題を克服するためには, 粒子が探索空間をくまなく探索してめぐる必要がある。それを目的とした様々な解探索の多様化手法が提案されている [3] [4] [5]。本研究では, PSO の多様化手法として, ランダムサーチを取り入れた PSO を提案し, 関数最小値問題に適用する。提案手法では, オリジナルの PSO のアルゴリズムに従う粒子 (以下, 通常粒子と呼ぶ) に加えランダムウォークする粒子 (以下, ランダ

ム粒子と呼ぶ) を追加し, 一定世代毎にランダム粒子を全粒子から再選択する。ランダム粒子の探索したよりよい位置を全粒子で共有し, 通常粒子の位置の更新に用いることで粒子全体での探索の多様性を図る。また, ランダム粒子の再選択で局所解に収束した通常粒子がランダム粒子に変化することで, 局所解から抜け出すことが可能となる。タイプの異なるベンチマーク関数の最小値問題を用い, Liang ら [3] により提唱された多様化手法の一つである DMS-PSO や PSO と提案手法の解探索能力を比較することで提案手法を評価する。

2. PSO の更新則

PSO での粒子は位置ベクトルと速度ベクトルを持ち探索空間を飛び回ることによって最適解を探索する。粒子の速度ベクトルと位置ベクトルの更新則を, それぞれ式(1)(2)に示す。 t は時刻であり, 以下世代と呼ぶ。 x_i と v_i は, それぞれ i 番目の粒子の位置ベクトルと速度ベクトルを表す。問題を一般化して空間次元を D 次元とする。速度ベクトルの更新式である式(1)の右辺第 1 項は慣性項であり, w は粒子の速度を抑制する働きを持つ慣性定数である。式(1)右辺第 2, 3 項は, それぞれ $pbest_i$, $gbest$ の位置ベクトルへ向かう

平成25年5月31日受理

* 日本大学大学院工学研究科情報工学専攻

** 日本大学工学部情報工学科

速度変化を表している。

$$v_i^{(t+1)} = wv_i^{(t)} + c_1r_1(pbest_i - x_i^{(t)}) + c_2r_2(gbest - x_i^{(t)}), \quad (1)$$

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + v_i^{(t+1)}. \quad (2)$$

$pbest_i$ とは、 i 番目の粒子が現世代までに探索した最良の関数値を持つ位置ベクトルである。 $gbest$ とは、すべての粒子の $pbest$ の中で最良すなわち最小の関数値を持つ $pbest$ である。 $c_1 r_1$, $c_2 r_2$ はそれぞれの速度変化の重み係数である。 r_1 , r_2 は探索の多様性のために $[0, 1]$ の範囲の一様乱数とする。また、先行研究 [6] [7] を参考にして $w=0.7298$, $c_1=c_2=1.49445$ とする。式(1)で求めた速度ベクトルを用いて式(2)により位置ベクトルが更新される。ただし、更新後の位置ベクトル成分が探索空間の定義域を飛び出した場合は、その成分値を探索空間の境界へ戻す。

3. ランダムサーチ PSO (提案手法)

提案手法であるランダムサーチ PSO を説明する。まず、全粒子から無作為に一定数のランダム粒子を選び、一定世代 (Tr) 毎に全粒子からランダム粒子を再選択する。全粒子に対するランダム粒子の割合を百分率で Rn と記す。ランダム粒子の速度更新則を式(3)に示す。式(3)で $Ar \times L$ は速度の振幅である。 r_3 は D 次元ベクトルであり、各成分は $[-1, 1]$ の範囲の互いに独立な一様乱数である。探索空間は D 次元立方体であり、立方体の一辺の長さが $2L$ である。従って、 L の値はそれぞれの関数の定義域から定める。 Ar は $[0, 1]$ の範囲の定数であり、速度の振幅を調節するパラメータである。位置の更新は式(2)に従う。従ってランダム粒子はランダムウォークを行う。ランダム粒子は探索の間、 $pbest$ を更新して情報収集を行う。

$$v_i^{(t+1)} = Ar \times L \times r_3. \quad (3)$$

通常粒子はオリジナルの PSO の更新則 (式(1)(2)) に従うが、式(1)で用いる $gbest$ の更新には、ランダム粒子が探索した $pbest$ も含めた全粒子の情報を利用する。通常の粒子の更新式のパラメータ値は 2 節と同じである。

ランダム粒子に関わるパラメータとしてランダム粒子の割合 Rn , 速度の振幅率 Ar , 再選択周期 Tr の 3 つがある。ランダム粒子の行うランダムウォークの一般的な特徴として t 世代での粒子の移動距離の平均が 0 で、標準偏差が $2Ar \times L \times t$ の平方根となる。従って、 Ar が小さいとランダム粒子は探索空間を広くさまようことがなく、出発点の周りしか探索しないことになる。そこで、本稿では $Ar=1$ とした。本稿では省略するが、いくつかのベンチマーク関数で Ar の探索性能への依存性を調べたが、 Ar が大きいほど探索性能が高い傾向が示された。

図 1 にランダムサーチ PSO のフローチャートを示した。はじめに、全粒子の位置ベクトルを探索空間内にランダムに配置し、速度ベクトルを 0 とする。また、一定数の粒子

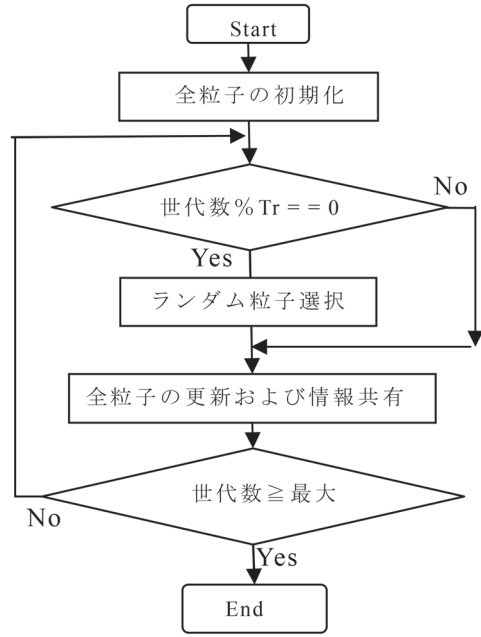


図1 提案手法のフローチャート

をランダム粒子として選択し、 $pbest$, $gbest$ の初期値を決定する。次に、情報 $pbest$, $gbest$ の更新と伴に粒子の座標と速度の更新を繰り返す。ただし $gbest$ の更新には、ランダム粒子の $pbest$ も含める。また、 Tr 世代ごとにランダム粒子の再選択を行う。これを終了条件まで続ける。本研究では規定世代数に達したとき探索終了とした。

4. DMS-PSO の概要

本研究では、提案手法の探索性能のパラメータ依存性とオリジナルの PSO や DMS-PSO との探索性能比較を行った。オリジナルの PSO のアルゴリズムは 2 節に示したので、ここでは DMS- PSO のアルゴリズムを説明する。DMS-PSO は PSO の多様化手法の一つで、全粒子を同数の粒子を含むグループに分け、グループでの情報の共有を行うことで、探索空間中の広い領域の探索を可能とする。また、一定期間ごとにグループの組み換えを行うことで、徐々に全粒子へよりよい情報が伝搬されるアルゴリズムである。その速度更新式を式(4)に示す。式(4)右辺第 1・2 項はオリジナルの PSO と同様に慣性項と $pbest$ へ向かう速度成分である。第 3 項では PSO の式(1)の $gbest$ が $lbest$ に変わっている。 $lbest$ とは更新粒子の属しているグループ中の現在位置の中で最良の関数値を持つ位置ベクトルである。従って、 $gbest$ を用いて全粒子で情報を共有する PSO に対して、DMS-PSO は $lbest$ を用いてグループ間で情報を共有して探索を行う。位置の更新は式(2)に従う。

$$v_i^{(t+1)} = wv_i^{(t)} + c_1r_1(pbest_i - x_i^{(t)}) + c_2r_2(lbest - x_i^{(t)}). \quad (4)$$

5. ベンチマーク関数

本研究では、以下に示す①～⑥の6つのベンチマーク関数の最小値問題を考える。① Sphere 関数は変数間に依存関係を持たない単純な単峰性関数であり、全座標成分が0のとき最小値0を取る。② Rosenbrock 関数は変数間に依存関係をもつ単峰性関数であり、全成分が1のとき最小値0を取る。この最適解の周りには関数値の高い領域が放物線上に広がっている。③ Rastrigin 関数は最適解の周辺に格子状に局所解を持つ多峰性関数である。変数間に依存関係はなく、全成分が0のとき最小値0を取る。④ Schwefel 関数は変数間に依存関係が無く、最適解は定義域の周辺部（全成分が420.96）にあり、最小値0を取る。また、探索空間内に局所解が存在するが、最適解の周辺には局所解が存在しないため、探索過程の早い段階に大域的な解探索が必要である。⑤ Ackley 関数は多数の局所解を持つ多峰性関数であるが、局所解一つ一つが浅く、Rastrigin 関数に比べ局所解から抜け出しやすい弱い多峰性の関数といえる。また、変数間に依存関係があり、全成分が0のとき最小値0を取る。⑥ Rotated - Rastrigin 関数は直交行列Mで変数xを直交変換することで、変数間に依存関係を持たせた関数である。①から⑥の関数式を以下に示す。

① Sphere 関数

$$f(x) = \sum_{d=1}^D x_d^2, \quad x \in [-5.12, 5.12]^D. \quad (5)$$

② Rosenbrock 関数

$$f(x) = \sum_{d=1}^{D-1} [100 (x_{d+1} - x_d^2)^2 + (1 - x_d)^2], \\ x \in [-2.048, 2.048]^D. \quad (6)$$

③ Rastrigin 関数

$$f(x) = \sum_{d=1}^D (x_d^2 - 10 \cos(2\pi x_d) + 10), \\ x \in [-5.12, 5.12]^D. \quad (7)$$

④ Schwefel 関数

$$f(x) = 418.9829 \times D - \sum_{d=1}^D x_d \sin\left(\left|x_d\right|^{\frac{1}{2}}\right), \\ x \in [-500, 500]^D. \quad (8)$$

⑤ Ackley 関数

$$f(x) = 20 + e - 20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2}\right) \\ - \exp\left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i)\right), \\ x \in [-32.768, 32.768]^D. \quad (9)$$

⑥ Rotated-Rastrigin 関数

$$f(y) = \sum_{d=1}^D (y_d^2 - 10 \cos(2\pi y_d) + 10), \\ y = Mx, \quad y \in [-5.12, 5.12]^D. \quad (10)$$

6. 実験方法

提案手法の解探索能力のパラメータ依存性を調べるため、パラメータ値を変えてベンチマーク関数の最小値問題を解く。提案手法を特徴付けるパラメータとして、速度の振幅率 Ar, 再選択周期 Tr, ランダム粒子数の全粒子数に対する割合 Rn がある。前述したように予備実験から速度の振幅率 Ar が大きいほど、よりよい解が探索されたため、本稿では Ar = 1.0 での結果を示す。そこで、Tr と Rn の2つの着目パラメータを変えた4通りの提案手法とオリジナル PSO と DMS-PSO の解探索能力を比較する。提案手法の4通りのパラメータ値を説明する。まず、Tr と Rn を様々な値で予備実験を行い、解探索がよいパラメータ値を絞り、パラメータ値を (Tr, Rn) = (10, 10), (20, 5) と固定した2通りの実験結果を示す。次に、2つの着目パラメータ Tr と Rn をランダム粒子の再選択時に確率的に定めた。Tr と Rn の値の選択範囲を表1に示した。それぞれ、表1に示すようにパターン1, 2と呼ぶ。Tr, Rn 以外の固定したパラメータ値を表2に示す。また、数値実験において粒子の初期分布や更新等で乱数列を用いている。そこで、個々の乱数列の効果を平均するため各パラメータセットに対して500回の実験を行った。以下では、この500回の数値実験により得られた測定量の加算平均をその測定量の統計平均と呼ぶ。

表1 確率的に選択できるパラメータ

	Rn	Tr
パターン1	10, 15, 20 %	5, 6, 7, 8, 9, 10
パターン2	10, 20 %	5, 10

表2 固定したパラメータ値

パラメータ名	値	
個体数 N	100	
次元数 D	10	30
最大世代数	30000	200000
速度振幅率 Ar	1.0	
統計平均数	500	

7. 実験結果

本稿では、D=10の結果を示す。D=30の数値実験も行ったが、D=10に比べ問題が難しくなるため計算時間がかかるが、解探索の性質は以下に述べるD=10の場合と定性的に変化は見られなかった。着目パラメータの組を (Rn,

$Tr) = (10, 10), (20, 5)$ に固定した場合と表 1 に示したパターン 1, 2 で変動させた場合の提案手法と PSO, DMS-PSO で 6 つの関数の最小値問題を解き、解探索能力を調べた。解探索能力を表す測定量として、各世代の gbest の値の統計平均（以下、 $\langle f(gbest) \rangle$ と表記）を計算した。 $\langle f(gbest) \rangle$ の世代推移を図 2-7 に示した。全ての図で、 $(Rn, Tr) = (10, 10)$ の結果を赤、 $(Rn, Tr) = (20, 5)$ の結果を青、パターン 1 で確率的にパラメータを変動させた結果を緑、パターン 2 の結果を黒、オリジナルの PSO の結果をピンク、DMS-PSO の結果を水色の曲線で表した。

図 2 の Sphere 関数では、全ての手法で最適解を探索した。特に、オリジナルの PSO と $(Rn, Tr) = (10, 10)$ の提案手法で速く解に収束している。図 3 の Rosenbrock 関数では、他の手法に比べると DMS-PSO が最適解に最も近い解を探索した。図 4 の Rastrigin 関数では、PSO, DMS-PSO に比べパターン 2 の提案手法が最適解に最も近い解を探索している。PSO と DMS-PSO は一定値に漸近していることから、局所解に収束したことが推測されるが、提案手法はいずれも収束せず探索が進んでおり、30000 世代後に最適解に近づくことが期待される。このことより提案手法は局所収束しにくい、あるいは局所収束から逃れる能力を持つ性質があると推測される。図 5 の Schwefel 関数では、PSO が早い段階に局所解に収束していることが分かる。30000 世代まででは DMS-PSO が最も良い結果を示しているが、早い段階で局所解に収束していることが分かる。一方、提案手法（特に $(Rn, Tr) = (20, 5)$ ）では、30000 世代まで探索した解は DMS-PSO より関数値が大きい、局所収束することなく解の探索が進んでいることがわかる。このことは、図 4 の結果と同様に、提案手法は局所収束しにくい性質があると推測される。図 6 の Ackley 関数では、DMS-PSO と $(Rn, Tr) = (10, 10)$ の提案手法が早い段階で最適解に近い解を探索している。図 7 の Rotated-Rastrigin 関数では、PSO が早い段階で局所解に収束しており、DMS-PSO が最適解に近い解を探索している。PSO に比べると提案手法は最適解に近い探索をしているが、DMS-PSO に比べると最適解から遠い探索をしている。

次に、解探索能力の 2 つ目の評価量として、4 通りの提案手法と PSO と DMS-PSO それぞれの 500 ランの中で規定値 (1.0×10^{-6}) より小さい値の関数値を探索した回数を表 3 に示す。①～⑥の番号は 5 節で示した関数を表す。①の Sphere 関数では、全ての手法・全て実験で規定値以下の値に達した。②の Rosenbrock 関数では PSO と DMS-PSO のみで最適解が多く探索されている。③の Rastrigin 関数では、全般的に提案手法が探索回数が多く、特に提案手法のパターン 2 で探索回数が最も多く、次いで $(Rn, Tr) = (10, 10)$ の提案手法で探索回数が多かった。④の Schwefel 関数では、どの手法でも規定値以下の解が探索されなかった。⑤の Ackley 関数では、いずれの手法でも探索回数が多いが、特に DMS-PSO, $(Rn, Tr) = (10, 10)$ の提案手法のパターン 1, 2 で探索回数が多い。⑥の Rotated-Rastrigin 関数では DMS-PSO が最も探索能力が高いが、提案手法でも 1 割以上のランで解を探索している。表 3 で見られる傾向は規定値を 1.0×10^{-8} にしたときも定性的に一致した。

8. まとめ

gbest の関数値の統計平均の世代推移より、提案手法はほとんどの関数において、オリジナルの PSO より最適解に近い解を探索できている。このことより、提案手法の探索能力はオリジナルの PSO より優れていると言える。また、Rastrigin 関数や Schwefel 関数では PSO や DMS-PSO では gbest の関数値の統計平均が収束している様子から、PSO や DMS-PSO では局所解へ収束したと推測されるが、提案手法では最終の 30000 世代でも探索が進んでいる。このことより、提案手法は局所解へ収束しにくい手法であると推測する。一方、DMS-PSO と比べると、Rotated-Rastrigin 関数のような、変数間に依存関係を持つ複雑な関数では、提案手法の探索能力は劣ることがわかる。しかし、Rastrigin 関数では提案手法が高い探索能力を示した。また、Schwefel 関数では 30000 世代までは DMS-PSO がよりよい解を探索しているが、DMS-PSO は局所解へ収束していることから 30000 世代より世代が

表 3 最適解の探索回数

手 法	①	②	③	④	⑤	⑥
提案手法 $(Rn, Tr) = (10, 10)$	500	3	453	0	500	57
提案手法 $(Rn, Tr) = (20, 5)$	500	0	378	0	267	71
提案手法：パターン 1	500	0	459	0	500	77
提案手法：パターン 2	500	0	470	0	500	91
PSO	500	447	0	0	432	0
DMS-PSO	500	451	412	0	500	138

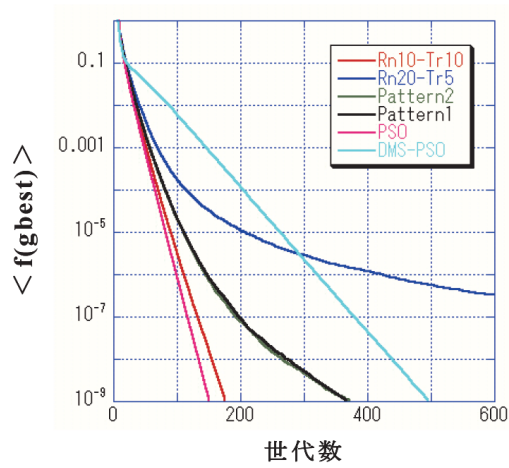


図2 $\langle f(\text{gbest}) \rangle$ の世代推移
(Sphere 関数, $D=10$)

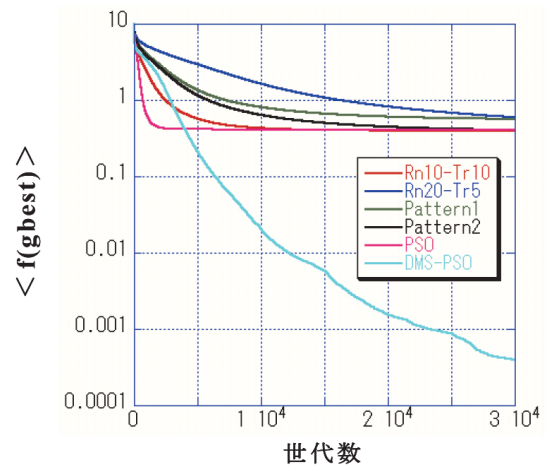


図3 $\langle f(\text{gbest}) \rangle$ の世代推移
(Rosenbrock 関数, $D=10$)

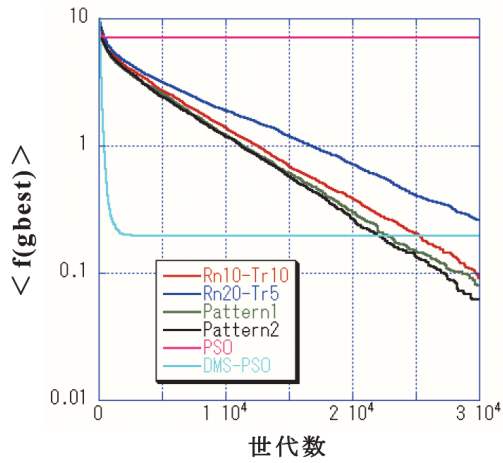


図4 $\langle f(\text{gbest}) \rangle$ の世代推移
(Rastrigin 関数, $D=10$)

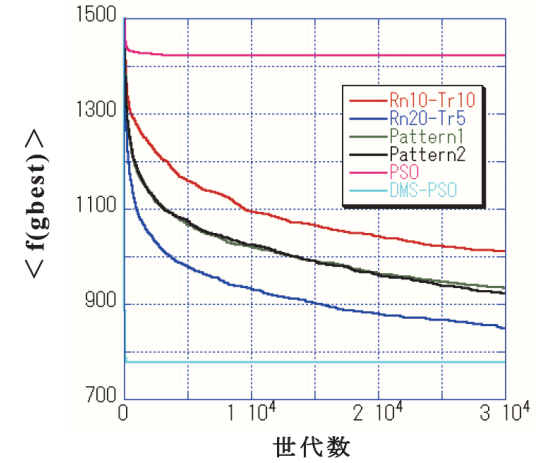


図5 $\langle f(\text{gbest}) \rangle$ の世代推移
(Schwefel 関数, $D=10$)

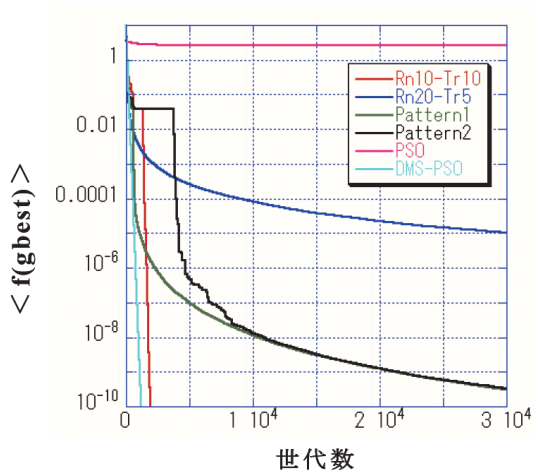


図6. $\langle f(\text{gbest}) \rangle$ の世代推移
(Ackley 関数, $D=10$)

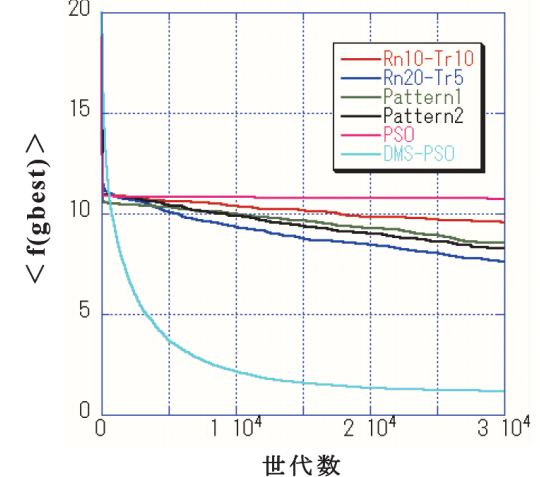


図7 $\langle f(\text{gbest}) \rangle$ の世代推移
(Rotated-Rastrigin 関数, $D=10$)

経ると、提案手法が DMS-PSO より良い解を探索する可能性もある。今後の課題として、提案手法が探索空間を実際に多様に探索しているかを詳しく調べたい。また、提案手法が本当に局所解に収束しにくいのか、局所解から抜け出す能力があるのか、確認したい。

参考文献

- [1] R. C. Eberhart, and J. Kennedy, "A new Optimizer using particle swarm theory", Proc. of the Sixth Int. Symposium on Micromachine and Human Science, Nagoya, Japan. pp. 39-43, 1995.
- [2] J. Kennedy, and R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization", Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ. pp.1942-1948, 1995.
- [3] J. J. Liang and P. N. Suganthan, "Dynamic multiswarm particle swarm optimizer (DMS-PSO)", Proceedings of the IEEE swarm intelligence symposium, pp. 124-129, 2005.
- [4] J. J. Liang, A. K. Qin, P. N. Suganthan, and S. Baskar, "Comprehensive Learning Particle Swarm Optimizer for Global Optimization of Multimodal Functions", IEE trans. Evol. Comput., Vol.10, pp. 281-295, 2006.
- [5] R. Poli, J. Kennedy, and T. Blacjwell, "Particle swarm optimization :An overview", Swarm Intelligence, Vol.1, pp.33-57, 2007.
- [6] M. Clerc and J. Kennedy, "The particle swarm -explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space-", IEEE trans. Evol. Comput., Vol.6, No.1, pp.58-73, 2002.
- [7] M. Clerc, "Particle swarm optimization", ISTE Ltd, 2006.

総合教育編

男性中高年ボディイメージに関する研究 — 運動習慣を予測するボディイメージ関連要因の検討 —

種ヶ嶋 尚志*, 遠藤 俊郎**, 小山 勝弘***

A Study about body Image of middle-aged men

- The examination of some factors related to cognitive body image which estimate exercise habits -

Hisashi TANEGASHIMA, Toshiro ENDO, Katsuhiro KOYAMA

Abstract

This study clearly showed some differences based on sex about cognitive body image among middle-aged people and that men tended to have less anxiety about being evaluated by others concerning own weight and physique.

Secondly, it was considered that drinking habit impeded a sense of satisfaction about own body and also strengthened a sense of anxiety about being evaluated by others concerning own physique. In other words, it could be considered that drinking habit had negative influence on body image.

Thirdly it was supposed that men tended to recognize a slender silhouette about own physique through satisfaction on own physique on a process of making cognitive body image.

Finally there was no factor of body image related to exercise on obese men, but it showed the possibility that body image of men who have standard proportion related to exercise was linked with stressful feeling about obesity and satisfaction about own physique, and that satisfaction and subjective certainty about own physique.

Key words : ボディイメージ, 社会的体格不安, シルエットチャート法, 心理的ストレス, 身体満足度

1. 諸 言

ボディイメージ(身体像)について Gorman (1968) は「自分の身体について思い描いた、もしくは視覚的なイメージから自己の身体をとらえたもの」と考えられており、近年様々な側面から研究がなされてきている。例えば、自己意識や自尊心、自己概念との関連や、食行動との関係、体重、体脂肪といった身体的要素との関わり、さらには統合失調症や摂食障害など精神疾患との関わり等々、多岐に渡って取り上げられる重要なテーマである。

本邦におけるボディイメージ研究は圧倒的に思春期・青年期の女性を対象にした研究が多い。なぜならば若年層の女性は身体美という社会文化的側面や食行動という健康科

学的側面、あるいは自らの意志で身体を痩せさせる太らせるといった身体の自己コントロール感や摂食障害といった臨床心理学的側面などの問題が多岐に渡り様々な角度から検討が行われているからである(吉岡ら 1997, 辻 2001)。しかしながら、青年期の先行研究に比較すると、中高年期を対象とした、ボディイメージについての検討を行っている研究は非常に少ないのが現状である。そのような中で 2009 年 12 月「脂肪吸引手術で女性死亡。美容外科家宅捜索」という報道がなされた。都内在住の 70 歳女性が美容外科で脂肪吸引手術を受けたところ、女性は帰宅後「腹部が痛い」と訴え、自宅で倒れ死亡しているのを同居する次男が発見した。死亡する直前、女性は「おなかの脂肪をとってきた。他の人には内緒にして」と腹痛に耐えながら話していたという。のちに家族は「極端に太っているわけではないが、気になっていたのかな」とコメントしている。このエピソードからも分かるように、高齢者になったとしても、自分の体型に対する不満とボディイメージの理想があり、そのギャップを埋めるための行動であったと考えられよう。このようなことから年齢に関係なくボディイメー

平成25年6月6日受理

* 日本大学工学部総合教育

** 大東文化大学スポーツ・健康科学部

*** 山梨大学教育人間科学部

ジに対する関心が失われることはないことをうかがい知ることが出来る。

近年では中高年層が美容整形や脂肪吸引手術を行うことは決して少なくないこととされている。谷本 (2012) がおこなった美容整形・美容医療を望む人の調査を行った研究では 25 歳～64 歳までの女性の 20%, 男性の 6% が美容整形・美容医療を受けたいと希望し、さらに美容実践を求める意識と年代には有意差が認められなかったと報告している。この研究から分かるように性差はあるものの男女共に美的要素としての身体に関心を有し、かつ若年層や中高年層での美容実践を行いたい意識に違いは見られないと考えることが出来る。

以上のような医療事故の事例や研究結果からも中高年がどのようなボディイメージを抱いているかを調査することは、中高年の身体意識を理解することに寄与し、それが自らの体重を適正に維持することや、健康的な生活を維持するひとつの指標になることが考えられ、生涯を通じて健康な身体を保つためのきっかけの一つとなることが期待される。その様な状況の中で、遠藤他 (2007) は、高齢者は運動経験・運動習慣の有無に関係なく類似したボディイメージを保持していることを示唆している。また遠藤他 (2010) では同様な年代にある被験者を対象とした研究において、自己の身体に関する意識度が高い女性は男性よりも、自身のボディイメージの恒常的維持に関係して運動習慣の実践へと結びつく可能性が高いことを示唆した他、体格的な不安や身体的な満足感、肥満へのストレスに関して男女の性差が認められたことを明らかにしている。さらに先行研究からも中高年のボディイメージには性差が認められたことから、種ヶ嶋他 (2013) では女性の中高年層のボディイメージと心理的ストレスや生活習慣の研究を行い、視覚的ボディイメージシルエット形成の要因は BMI といった体格指標と身体的な満足感が強く関与していることや、肥満体型の人であっても運動習慣に結びつく人は身体的な満足を得ており、視覚的ボディイメージシルエットを実際の自分より細めに評価することで運動習慣に結びついていることを示唆した。

そこで本研究は、調査対象としてあまり注目されてこなかった男性に絞る、男性の食生活や運動習慣などの生活習慣や、身体満足感、体型不安などの心理的要因とボディイメージの関連を見出すとともに、運動習慣を予測するボディイメージ関連要因の検討を行うことを目的とした。

2. 方 法

1. 調査対象者：Y 県及び S 県在宅の 40 代から 80 代の男性 95 名（有効回答率 96.7%）を対象に質問紙によるアンケート調査を実施した。平均年齢は 68.93 歳 (SD=7.02)。インフォームドコンセントについての教示を与え、本研究の主旨に対する理解を得た者のみ回答するように指示した。
2. 調査期間：2009～2011 年
3. 調査内容：本研究では、体格・簡易的体力指標、現在と過去の運動習慣（週 2 日以上、1 日 30 分以上）、現在の健康行動（運動と食事）、および踵骨超音波骨密度等を測定するとともに、以下の調査を実施した。
 - (1) フェイスシート：性別、身長、体重、運動の好嫌度を「とても嫌い」から「とても好き」の 5 段階評価、現在の運動習慣の有無と行っている活動、時間、頻度、過去の運動経験の有無と行っていた活動、頻度、期間を調査した。
 - (2) 社会的体格不安スケール：Elizabeth (1989) らが作成した社会的体格不安スケールを磯貝 (1994) が日本語訳した質問紙を用いた。社会的体格不安とは「自分の体格に対して他人が評価することから生じる不安」を示し、高得点ほど不安を抱いていると評価される。
 - (3) ボディイメージ調査
 - ① 視覚的体型評価：遠藤ら (2002) が作成した 7 段階のシルエット図を用い、シルエット図から、現在の体型、過去の体型、理想の体型保持者の理想の体型に最も当てはまると思うシルエット図を選択させた (図 1)。

【男】



【女】



図 1 体型評価のシルエット図

②認知的体型評価：視覚による体型評価と同時に、現在の体型満足度（以下身体満足度）について自身がどのように認知しているか5段階法による評価を求めた。また、体型を気にしているかという尺度では、「まったく気にしていない」を指数1、「とても気にしている」を指数5として、高得点者ほど体型を気にしていると評価する。体型満足度では「全然満足していない」を満足度指数1、「とても満足している」を満足度指数5とした。

③自己の体型及び肥満ストレス度調査：Cooper ら（1987）によるアンケート調査を中尾（1990）が日本人向けに改良した3観点28項目中『肥満に関するストレス度』の10項目を肥満ストレス度得点とし、「とても当てはまる」を指数5、「全然当てはまらない」を指数1として、高得点者ほど体型、体重や太ることにストレスを感じていると評価する。回答方法は、各項目に対して5段階評価で行われた。

4. 結果の処理：本研究における分析は、統計ソフト SPSS for windows によって行なわれた。

3. 結果

表1に対象者の属性を示した。また体格指数のBMIから肥満度を算出し、BMIの値が18.5以下を低体重（ $n=2$ ）、18.5～25までを標準（ $n=63$ ）、25以上を肥満（ $n=28$ ）として3つに分類した。

1. 生活習慣からみたボディイメージの検討

(1) 体格指標とボディイメージの相関

体格指標とボディイメージとの相関を表2に示す。社会的体格不安はBMI $r=.21$ ($p<.01$)と有意な正の相関が認められた。身体満足度は体重 $r=-.60$ ($p<.01$)、BMI $r=-.67$ ($p<.01$)と有意な負の相関が認められた。肥満ストレス度は体重 $r=.38$ ($p<.01$)、BMI $r=.40$ ($p<.01$)と有意な正の相関が認められた。視覚的体型評価（以下視覚評価）は体重 $r=.54$ ($p<.01$)、BMI $r=.62$ ($p<.01$)と有意な正の相関が認められた。身長はいずれのボディイメージ尺度とも相関は認められなかった。

(2) 運動習慣の有無によるボディイメージの検討

対象者の運動習慣とボディイメージとの関連を明らかにするために、「現在1週間に2日以上運動する機会があるか」回答を求め、社会的体格不安、身体満足度、肥満ストレス度、視覚評価の各得点と運動習慣の有無とのt検定を行った（表3）。その結果、有意差は認められなかった。

(3) 間食行動の有無によるボディイメージの検討

対象者の間食行動とボディイメージとの関連を明らかにするために、「現在間食または夜食を1日1回摂っているか」回答を求め、社会的体格不安、身体満足度、肥満ストレス度、視覚評価の各得点と間食行動の有無とのt検定を行った（表4）。その結果、

表1 各測定項目の基本統計量

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
身長	93	164.45	5.79
体重	93	63.31	9.55
BMI	93	23.38	3.00
社会的体格不安	93	2.59	.82
身体満足度	93	3.07	.88
肥満ストレス度	93	2.10	.76
視覚的体格評価	93	3.40	1.31

表2 体格指標とボディイメージの相関

	社会的 体格不安	身体満足度	肥満 ストレス度	視覚的 体格評価
身長	-.01	-.08	.09	-.01
体重	.18	-.60**	.38**	.54**
BMI	.21**	-.67**	.40**	.62**

** $p<.01$

表3 運動習慣の有無によるボディイメージ得点の比較

	運動習慣	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> 値
社会的 体格不安	あり ($n=72$)	2.64	.82	1.08 ^{n.s}
	なし ($n=21$)	2.42	.83	
身体満足度	あり ($n=72$)	3.08	.85	.30 ^{n.s}
	なし ($n=21$)	3.12	.99	
肥満 ストレス度	あり ($n=72$)	2.17	.76	1.67 ^{n.s}
	なし ($n=21$)	1.86	.71	
視覚的 体格評価	あり ($n=72$)	3.40	1.36	.07 ^{n.s}
	なし ($n=21$)	3.38	1.16	

n.s: not significant

表4 間食の有無によるボディイメージ得点の比較

	間食	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> 値
社会的 体格不安	する ($n=24$)	2.92	.71	2.32*
	しない ($n=69$)	2.48	.83	
身体満足度	する ($n=24$)	3.13	.84	.41 ^{n.s}
	しない ($n=69$)	3.05	.89	
肥満 ストレス度	する ($n=24$)	2.15	.64	.38 ^{n.s}
	しない ($n=69$)	2.09	.80	
視覚的 体格評価	する ($n=24$)	2.92	1.53	2.13*
	しない ($n=69$)	3.57	1.19	

n.s: not significant, * $p<.05$

表5 アルコール摂取の有無による
ボディイメージ得点の比較

アルコール		M	SD	t 値
社会的 体格不安	飲 む (n=38)	2.92	.79	3.42***
	飲まない (n=55)	2.36	.77	
身体満足度	飲 む (n=38)	2.82	.81	2.31*
	飲まない (n=55)	3.24	.89	
肥満 ストレス度	飲 む (n=38)	2.27	.80	1.73 ^{n.s}
	飲まない (n=55)	1.99	.72	
視覚的 体格評価	飲 む (n=38)	3.58	1.31	1.11 ^{n.s}
	飲まない (n=55)	3.27	1.31	

n.s: not significant, * $p < .05$, *** $p < .001$ 表6 ボディイメージと BMI の重回帰分析
(従属変数: 視覚的体格評価)

			β
B	M	I	.45***
社会的体格不安			.06 ^{n.s}
身体満足度			-.37**
肥満ストレス度			-.23 ^{n.s}
R^2			.44***

n.s: not significant, ** $p < .01$, *** $p < .001$ R^2 重決定係数
 β : 標準偏回帰係数

表7 体型別によるボディイメージ得点の比較

体型		M	SD	t 値
社会的 体格不安	標準 (n=63)	2.35	.79	4.52***
	肥満 (n=27)	3.02	.57	
身体満足度	標準 (n=63)	3.35	.78	6.96***
	肥満 (n=27)	2.31	.58	
肥満 ストレス度	標準 (n=63)	1.85	.65	5.39***
	肥満 (n=27)	2.67	.71	
視覚的 体格評価	標準 (n=63)	3.10	1.15	4.96***
	肥満 (n=27)	4.37	1.04	

*** $p < .001$ 表8 運動習慣を予測するボディイメージ関連要因の
判別分析結果

体型群	固有値	Λ	判別率	標準化された 正準判別関数係数
標準 (n=63)	.37	.87*	60.3	BMI .65
				身体満足度 1.12
				肥満ストレス度 1.25

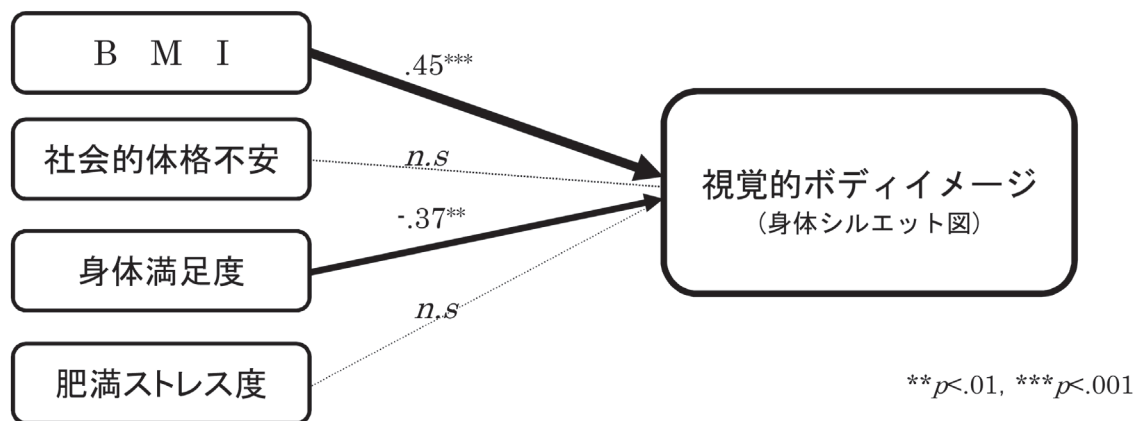
* $p < .05$ Λ : Wilks の Λ 

図2 現在の視覚的ボディイメージ形成に影響する身体的心理的要因

「社会的体格不安」($t(91)=2.32, p < .05$), 「視覚評価」($t(91)=2.13, p < .05$)において有意差が認められ, 間食習慣がある方が社会的体格不安得点が高く, 視覚評価得点は低いという結果が得られた。

- (4) アルコール摂取の有無によるボディイメージの検討
対象者のアルコール摂取とボディイメージとの関連を明らかにするために, 「アルコール類は1日に日本酒1合以上飲みますか?」に関する回答を求

め, 社会的体格不安, 身体満足度, 肥満ストレス度, 視覚評価の各得点とアルコール摂取の有無とのt検定を行った(表5)。その結果, 「社会的体格不安」($t(91)=3.42, p < .001$), 「身体満足度」($t(91)=2.31, p < .05$)において有意差が認められ, アルコール摂取習慣がある方が社会的体格不安得点が高く, 身体満足度得点は低いという結果が得られた。

2. 視覚的ボディイメージを規定する要因についての検討

社会的体格不安や身体満足、肥満ストレス、BMI が視覚的ボディイメージに与える影響について検討するために「視覚的体格評価」を従属変数に、「社会的体格不安、身体満足度、肥満ストレス度、BMI」を独立変数に重回帰分析を行った。その結果を表6に示し、重回帰分析に基づくパス図を図2に示す。重回帰係数は有意($R^2=.44, p<.001$)であり、視覚的体格評価に対してBMI(標準偏回帰係数以下 β) $=.45, p<.001$ が最も強く影響し、次に身体満足度($\beta = -.37, p<.05$)と続いた。

3. 運動習慣を予測するボディイメージ関連要因の判別分析

対象者の体型とボディイメージとの関連を明らかにするために、BMI値が18.5～25までを標準群($n=63$)、25以上を肥満群($n=27$)とし、社会的体格不安、身体満足度、肥満ストレス度、視覚評価の各得点と体型とのt検定を行った(表7)その結果、「社会的体格不安」($t(67.4)=4.52, p<.001$)、「身体満足度」($t(65.4)=6.96, p<.001$)、「肥満ストレス度」($t(88)=5.39, p<.001$)、「視覚評価」($t(88)=4.96, p<.05$)において有意差が認められ、肥満体型の方が社会的体格不安得点、肥満ストレス得点、視覚評価得点が高く、身体満足度得点は低いという結果が得られた。

体型別ではボディイメージの捉え方に違いが認められたため、肥満体型と標準体型、両者において運動習慣判別に有効な要因を探索するため判別分析を行った。独立変数はボディイメージの各指標となる社会的体格不安、身体満足度、肥満ストレス度、視覚評価とBMIを用いた。正準相関係数に関する固有値とWilksの Λ 、判別に有効とされた尺度と標準化された正準判別関数係数を表8に示す。その結果、標準体型群のみ有意差が認められBMI、身体満足度、肥満ストレス度が判別に有効(正判別率60.3%)とされた。

4. 考 察

生活習慣とボディイメージに関して

中高年男性の体格や肥満とボディイメージの各指標との関連を検討するため相関分析を行った。体重は肥満ストレス、視覚的体格評価との正の相関があり、身体満足度とは負の相関が認められた。また、BMIも同様の傾向が認められるとともに社会的体格不安とも正の相関がみられた。体重やBMI数値が大きくなることで、不安やストレス度、視覚的ボディイメージが大きくなることが考えられる。種ヶ嶋ら(2013)の研究で行われた女性中高年の体格指標とボディイメージの相関分析では社会的体格不安と体重の間に正の相関関係が認められていたが、男性においては認められなかった。体重と身体満足度が負の相関を示していることを鑑みると中高年男性は身体に関して他者が評価することについてあまり価値を置かず、逆に自分の健康の保持増進のために、いかに太らない身体作りをするかといった自己評価に価値を置く考え方を重視していることが推察

された。身長に関しては、各ボディイメージ指標は無相関であった。BMIの算出方法は体重/(身長)²であることからボディイメージは身長のような高さが直接的に関係するのではなく、体重といった重さや横幅との関連が強く認められることが考えられた。

運動習慣とボディイメージについて検討を行ったところ、その関連性は認められなかった。女性中高年の運動習慣とボディイメージの検討を行った研究(種ヶ嶋ら(2013))では運動習慣を有する人が社会的体格不安感が少なく、身体満足度も高い傾向が認められていたが、本研究の中高年男性では認められなかった。これはただ運動をするだけではボディイメージを変容することに繋がらないことが考えられる。なぜならば、運動をしていたとしても体重減少に繋がっていなかったり、身体シルエット像の変化に繋がらないことがあるということである。つまり男性は運動の質の問題であったり、摂取カロリーと運動消費カロリーとのバランスの問題など考慮に入れながら、実際に運動した結果、自分の身体が今どうなっているのかの現実感覚が重要であるものと考えられた。

また、間食行動とボディイメージの検討を行ったところ、間食が習慣化している人は身体に関する他者評価を気にする傾向があることが考えられる。先述の運動習慣ではボディイメージ関連項目に違いが認められなかったが、実際問題として間食をしているという現実(例えば、食べたから体重が増えること)が社会的体格不安に影響をしていることが考えられる。

アルコール摂取とボディイメージの検討を行ったところ、日常的な飲酒は、体格評価されることへの不安感を強め、さらに身体満足度を下げている。しかしながら、肥満ストレス度に関して違いが認められなかった。これはお酒を飲むことに関しての肥満ストレスは少なく、飲酒という習慣自体は必要性を認識し自己肯定できるものであるが、逆に他者から見られたり、評価される場合の飲酒習慣は体型評価にマイナスに作用するようなある種の罪悪感を感じていることが考えられる。

視覚的ボディイメージを規定する要因に関して

重回帰分析の結果から、視覚的体格評価(身体シルエット図)はBMIから正の影響、身体的満足度から負の影響を受けていることが認められた。社会的体格不安や肥満ストレス度についてはその影響が認められなかった。自己評価の視覚的ボディイメージ形成はBMIからの影響が大きく働いている。BMIは身長と体重を基にした全体的な体格バランスからボディイメージ形成の一要因になっており、BMI数値が高くなるほど自分自身の体格を大きく評価する傾向にある。また身体的な満足度が上がることでボディラインを細く評価する傾向が認められた。つまり、中高年男性の視覚的ボディイメージ形成は体格指数の影響と共に自己の身体に関しての肯定感や満足感が影響していると考えられた。

運動習慣を予測するボディイメージに関して

現在の体型とボディイメージとの比較検討において、標

標準体型群と肥満体型群の間には社会的体格不安、身体満足度、肥満ストレス度、視覚評価すべてにおいて違いが認められたため、現在の体型別に、ボディイメージのどのような要因が運動習慣に繋がっているのか、判別分析を行い検討した。その結果、標準体型の人では、肥満ストレス度と身体満足度の評価が強く影響しており、身体が太ることのストレスや身体への肯定感が運動習慣に繋がっていることが考えられた。また、肥満体型の人での分析では統計的に有意な結果が認められなかったため、肥満体型の人たちにおいては運動習慣に繋がるボディイメージの要因は見出しにくいことが考えられる。運動習慣に繋がる標準体型と肥満体型との違いは、運動することで標準体型を維持している、あるいはダイエットに成功していることが考えられるが、逆に肥満体型の人の中には運動が苦手と考えポジティブなボディイメージを描けず、運動をしたくないと考える人もいることが考えられる。それゆえ肥満体型群においてはボディイメージと運動習慣の間に関係を見出すことが出来ず、その他の要因が関わっていることも考えられた。しかし、肥満体型の運動習慣の調査対象数が27名と多くはないため、データ数が小さいことによる影響も考慮に入れておく必要があろう。

また、種ヶ嶋ら(2013)の研究で行われた女性中高年を対象とした運動習慣に起因するボディイメージに関しての判別分析では、標準体型、肥満体型そのどちらともに視覚的体格評価(身体シルエット)が関与していたが、本研究の男性中高年においては、それが全く見られなかった。これは特に男性において、理想・現実のボディイメージを連想、想像することよりも、身体の満足感に働きかける内容や直接的に健康につながる内容を重視するといった、現実的な事柄の方が運動習慣に繋がりがやすいことが考えられた。

判別分析の判別率は極めて高い数値ではないため、一概に言えることではないが、本研究で考えられることは、標準体型の人で運動行動に繋がっている人は肥満へのストレスを抱えながらも身体への満足感や肯定感が得られている。しかしながら肥満のストレスを抱えていたとしても運動習慣に繋がらない人は身体に対する不満足感を有していることが考えられた。

まとめ

本研究から男性中高年のボディイメージに関して以下のことが明らかとなった。第一に視覚的ボディイメージや肥満ストレス度は体重やBMIと関連し、中高年女性に見られるような社会的体格不安と体重との関連性は中高年男性には認められなかった。第二に飲酒習慣は、社会的体格不安の感情を強め、さらに身体満足度を下げている。アルコール摂取が多いと体型を他者から評価されることにネガティブな影響を与えていることが考えられた。第三に視覚的ボディイメージの形成はBMIといった体格評価の指標と身体的な満足感が強く関与していることが考えられた。第四

に肥満体型の人では運動習慣に結びつくボディイメージの要因を見出さなかったが、標準体型の人で運動習慣に結びつくボディイメージは肥満ストレス度と身体満足度であり、肥満に関するストレスを抱えながらも、身体的な満足感や肯定感を高めていくことで運動習慣に結びつく可能性が示された。

女性中高年の運動習慣に結びつくボディイメージ要因は身体満足度であり、身体的満足度を高めていくことでボディイメージにポジティブな評価を与え、運動習慣に結びつくとしている(種ヶ嶋ら(2013))。また運動習慣のある肥満体型の女性はボディシルエットを細めに認知する傾向があるとしており、本研究で行われた中高年男性と先行研究の中高年女性では運動行動に結びつく要因に異なる部分があることが分かる。特に男性においてはシルエットといった視覚認知や他者評価されることに重きを置くことよりも、自分がどう考え感じるのかといった自己評価的側面や、肥満の心身への影響やストレスといった健康的側面から運動習慣に結びついていることが考えられた。

今後の課題として、次のようなことが考えられる。本研究は調査数として十分な数が得られているとはいえないが、このような調査が可能になったこと自体が大変貴重な資料である。中高年層、特に高齢者を対象にした調査の場合、協力が得られにくい環境があるが、今後とも調査協力してもらえよう環境作りや理解を求める活動が必要になろう。また現在運動習慣がある人となない人での比較検討を行ったが、理想体型や目標体型がある対象者となない対象者での生活・運動習慣に差異が認められることが考えられよう。運動習慣の判別分析の判別率は十分な数値であるとはいえないため、自己の目標体型や理想体型等の未来への視点を加味した分析を行い、詳細な予測ができるよう検討し、ボディイメージ研究を行っていく必要があろう。

[謝辞]

本稿は、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C))「壮年期・老年期におけるボディイメージと運動行動の関連性(課題番号21500556)」の交付を受けて実施された研究成果の一部である。

参考文献

- Cooper, P.J., et al (1987) The development and validation of the body shape questionnaire. The international of eating disorder (6), 485-494
- Elizabeth, A.H (1989) The measurement of social physical physique anxiety. Journal of Sport & Exercise Psychology (11), 94-104
- 遠藤俊郎 (2011) ボディイメージの心理学と運動, 体育の科学 61 (5), 306-310
- 遠藤俊郎, 小山勝弘 (2011) 中高年のボディイメージと運動習慣 体育の科学 61 (5), 332-337

- 遠藤俊郎, 小山勝弘, 他 (2011) 日本人中高年女性のボディイメージと運動習慣との関連 -1- : 性差からの検討, 日本体育学会大会予稿集 (62) 109
- 遠藤俊郎, 小山勝弘, 他 (2010) 壮年期・老年期におけるボディイメージに関する研究 - 運動行動実践への関係性を探る - 日本体育学会予稿集 (61) 113
- 遠藤俊郎, 下川浩一, 他 (2007) 壮年後期・老年期におけるボディイメージと運動行動に関する研究, 山梨大学教育人間科学部紀要 9, 155-162
- 遠藤俊郎・阿江美恵子・三宅紀子 (2002) 自己の身体に対する意識の変容-第3報:成人を対象として-日本体育学会予稿集 (53) 245
- Gorman W (1968) Body Image and the Image of the Brain. Warren H Green. (村山久美子訳 (1981) ボディ・イメージ. 誠信書房)
- 磯貝浩久 (1994) 社会的体格不安の測定に関する研究, 九州工業大学情報工学部紀要 (7) ,9-19
- 厚生労働省 (2012) 国民健康・栄養調査
- 中尾美美子 (1990) だれが私を肥満と決めるのか, 雑誌食生活 (2) ,24-29
- 種ヶ嶋尚志, 遠藤俊郎, 他 (2013) 女性中高年ボディイメージの視覚的評価からみた心理的ストレスと生活習慣に関する研究, 大東文化大学紀要〈社会科学編〉(51) ,129-139
- 谷本奈穂 (2012) 美容整形・美容医療を望む人々, 関西大学総合情報学部紀要「情報研究」(37) ,37-59
- 辻秀一 (2001) 若年女性ボディイメージに及ぼす運動習慣の影響, 東横学園女子短期大学女性文化研究所紀要 (10) ,175-190
- 吉岡毅, 吉沢貴子, 福田晴美 (1997) 若い女性のボディイメージと食行動について, 東京家政学院大学紀要 37, 251-270

日本大学工学部紀要

第55巻第1号

平成25年9月20日 印刷
平成25年9月25日 発行

非 売 品

編集兼
発行者

日本大学工学部工学研究所

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1

Tel. (024) 956-8648

〈e-mail address〉 kenkyu@ao.ce.nihon-u.ac.jp

印刷者 株式会社星総合印刷

〒962-0001 福島県須賀川市森宿字関表37-8

Tel. (0248) 72-5151

**JOURNAL OF THE COLLEGE OF ENGINEERING
NIHON UNIVERSITY
Vol. LV, No.1, 2013
CONTENTS**

ENGINEERING

- Numerical Simulation of Bubble Cloud Cavitation with a Front-Tracking Method
..... Guoyi PENG, Seiji SHIMIZU and Gretar TRYGGVASON (1)
- Proposal of Random Search PSO and its Evaluation
..... Yuta TAKAHASHI and Toshiya IWAI (7)

GENERAL STUDIES

- A Study about body Image of middle-aged men
- The examination of some factors related to cognitive body image which estimate exercise habits -
..... Hisashi TANEGASHIMA, Toshiro ENDO, Katsuhiro KOYAMA (13)