

## 平成27年度コロキウム発表要旨

平成27年度第1回2015年11月10日

演題：健康増進ツールとしての身体組成評価法の確立を目指して

演者：田中 憲子

生体電気インピーダンス法は、簡便に身体組成を推定する方法として家庭やスポーツ現場に広く普及している。今回のコロキウムでは、その生体電気インピーダンス法を健康増進ツールとして利用するために、発表者がこれまでに取り組んできた内容を発表した。

骨格筋量の測定は、身体資源から身体能力を評価するうえで重要であり、2016年から国際疾病分類に加えられたサルコペニア（加齢に伴う骨格筋量や身体機能の低下）の診断基準にも骨格筋量のカットオフ値が設定されている。また、生活習慣病の予防には体重の28.5%以上の骨格筋量が必要との報告もある（Miyatani et al. 2008）。すなわち、骨格筋量を定期的に測定し、その変化をモニタリングすることは、健康の維持・増進に不可欠である。骨格筋量の推定法のうち、研究現場のみならず家庭にも広く普及しているのは、生体電気インピーダンス（BI）法である。この方法は、生体に微弱な高周波電流を通电した際に得られる抵抗値が、水分、すなわち除脂肪組織量を反映していることを利用した身体組成の推定法であり、四肢の場合であれば筋肉量にほぼ等しい値が得られることになる（Baumgartner et al. 1989）。しかしながら、BI法による身体組成推定の大きな制限要因の一つは、生体を単一あるいはいくつかの円柱と仮定していることであり、トレーニングや加齢に伴い身体セグメント（上腕、前腕、大腿、下腿、および体幹）間における骨格筋の分布状況が円柱からかけ離れてしまうと、推定誤差も大きくなる。実際に、生体を一つの円柱と仮定して右手首-右足首間のBI値から全身骨格筋量を推定した Janssen et al. (2000) では、特にアジア人において体格に応じた系統誤差が生じることが報告されている。体重計型体組成計の家庭への普及率に反し、BI法による全身骨格筋量推定の妥当性は、実際には十分に検討がなされていないのが現状である。また、測定されるBI値そのものが、対象物の長さに比例、断面積に反比例するという特性を持っていることも、推定誤差をもたらす原因となる。家庭に広く普及している体組成計のように足裏や手掌に電極を配置したBI誘導法では、前腕と下腿の骨格筋量がBI値の70%以上を決定し、全身骨格筋量の40%以上を占める体幹部骨格筋（Tanaka et al. 2007）の寄与率は7%程度しかない（Chumlea et al. 1988）。体幹部の骨格筋は、量的に多だけでなく、姿勢の保持

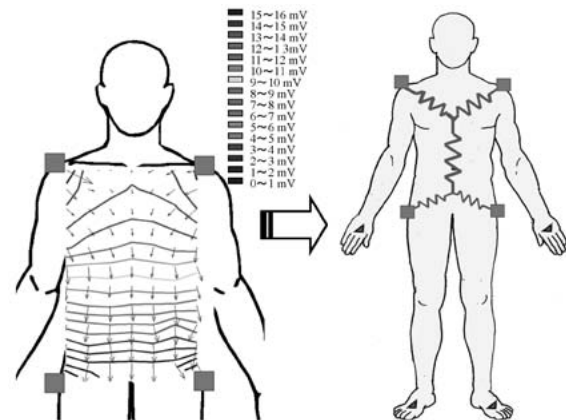


図1. 体幹に通电した際の電位分布

や運動パフォーマンス、腰痛の有無と関連する。すなわち、BI法による全身骨格筋量推定の妥当性を得るためには、体幹部骨格筋量をBI値に反映させることが必要になる。

図1に、体幹に50 kHz、500  $\mu$ Aの微弱な高周波電流を流した際の電位の分布を示す（n=7, Ishiguro et al. 2006を再編）。大転子に配置した電極を基準とした場合、肩峰から出た電気力線は体幹長約30%位置において等電位となり、体幹長90%位置から左右の大転子に集結する。この結果を踏まえ、左右の肩峰ならびに大転子に電圧計測電極を配置して体幹の左・右上部、中部、および左・右下部より合計5つのインピーダンスをそれぞれ個別に取得する新たな誘導法を考案し、磁気共鳴画像法により測定した体幹部や全身の骨格筋及びその他組織の体積との関連を検討したところ、体格の大きさやトレーニング状況に左右されることのない推定が可能となった（Ishiguro et al. 2006, Tanaka et al. 2007）。

### おわりに

体幹部骨格筋をBI値に反映することのできる機器は家庭に普及していないのが現状である。そこで最後に、一般的な体組成計を利用する際にできる限り誤差を小さくする方法を紹介する（図2）。

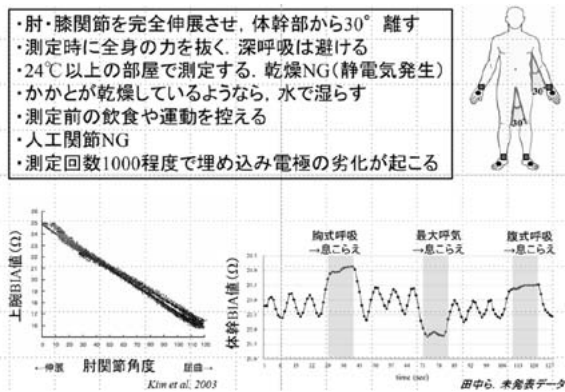


図2. BI法による身体組成測定時の注意点

### 謝辞

体幹における電位分布の作成には、(有) マッスルラボ増尾善久氏、東京大学・吉岡伸輔先生ならびに立命館大学・栗原俊之先生にご協力いただいた。

### 参考文献

Miyatani M, Kawano H, Masani K, Gando Y, Yamamoto K,

Tanimoto M, Oh T, Usui C, Sanada K, Higuchi M, Tabata I, Miyachi M. (2008) Required muscle mass for preventing lifestyle-related diseases in Japanese women. BMC Public Health, 18: 291.

Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. (1989) Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments. Am J Clin Nutr., 50: 221-226.

Janssen I, Heymsfield SB, Baumgartner RN, Ross R. (2000) Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. J Appl Physiol., 89: 465-471.

Tanaka NI, Miyatani M, Masuo Y, Fukunaga T, Kanehisa H. (2007) Applicability of a segmental bioelectrical impedance analysis for predicting the whole body skeletal muscle volume. J Appl Physiol., 103: 1688-1695.

Chumlea WC, Baumgartner RN, Roche AF. (1988) Specific resistivity used to estimate fat free-mass from segmental body measures of bioelectric impedance. Am J Clin Nutr., 48: 7-15.

Ishiguro N, Kanehisa H, Miyatani M, Masuo Y, Fukunaga T. (2006) Applicability of segmental bioelectrical impedance analysis for predicting trunk skeletal muscle volume. J Appl Physiol., 100: 572-578.

Kim SC, Nam KC, Kim DW, Ryu CY, Kim YH, Kim JC. (2003) Optimum electrode configuration for detection of arm movement using bio-impedance. Med Biol Eng Comput., 41: 141-145.

平成27年度第1回2015年11月10日

演題：集団スポーツのダイナミクス

演者：横山 慶子（体育科学部）

## 1. はじめに

集団スポーツでは、個人技能だけではなく、連携や駆け引きなどの対人・集団技能が要求される。こうした技能では、広い空間において複数の他者との関係を素早く調整する必要があるため、ヒトの高度な社会的な技能を観察できる格好の題材といえる。近年では、工学技術の急速な発展によって、広領域で繰り広げられる多人数の時空間情報が、高い時間分解能で同時計測できるようになり、対人・集団スポーツの多人数レベルの検証は、スポーツ科学において新しいトピックとなりつつある。しかしながら、例えばプレイヤーの1試合あたりの移動距離などの個人の運動技能の検証とは異なり、連携や駆け引きなどの対人・集団技能を検証するには、取得された多人数の行動情報からプレイヤー間の「相互作用」を読み解くための解析上の工夫が必要となるため、未だ十分な検討はなされていない。

著者らはこれまで、多要素間の相互作用からなる複雑な現象を数理的に検討する力学系の視点を軸にすることにより、集団スポーツの対人・集団技能にみられるダイナミクス（動的変化の規則性）の一側面を明らかにしてきた。本発表では、そのうちでも、著者が中心に行った三者の集団技能に関する研究を紹介した。

## 2. 集団技能に潜む同期ダイナミクス

「息が合ったプレー」などと表現されるように、集団技能では、複数のプレイヤー間の行動の同調、すなわち「他者とのリズムの同期」が要求される。ヒトのリズム同期のダイナミクスに関しては、二者の足振り運動のリズム (Schmidt et al., 1999) や、聴衆の拍手 (Néda et al., 2000) など、二者あるいは多集団の同期ダイナミクスが、多連結振動子モデルを用いて検証されてきた。しかしながら、このモデルでは、2あるいは大多数の要素からなる系を扱うには適しているが、例えば3、4、5などの少数の要素間の同期に関しては、数理的に解くための複数のパラメータを定義する必要があるため、少人数によるリズム同期の検証に向いていない。一方で、要素間が空間的に対称に結合（相互作用）する系に限れば、対称性のホップ分岐理論 (Golubitsky and Stewart, 2002) を導入することにより、動物や昆虫の歩様リズム (Collins and Stewart, 1993) や、粘菌リズム (Takamatsu et al., 2001) など、少数の要素からなる系のリズム同期のダイナミクスが明らかにされている。著者らは、プレイヤー間が空

間的に対称に相互作用する系として、サッカーの3対1ボール保持課題を題材とすることで、三者の集団技能のダイナミクスを検証した。その結果、熟練者は、三者のリズムが等しい時間差を維持した対称性の高い同期パターンを示した一方で、初心者は、三者のうち二者のみが同期するといった熟練者よりも対称性の低い同期パターンを示していた (Yokoyama and Yamamoto, 2011)。

## 3. 集団技能を支える社会的な力

上述した研究で確認された集団技能の同期は、個人のどのような社会的な技能によって支えられ、その熟達差とは何であろうか。この問題を解決するために著者らは、社会的な力モデル (social force model) を用いて個人の動きを定式化することとした。このモデルは、社会心理学者が提唱した場の理論 (Lewin, 1964) をもとに、物理学者が歩行者の行動モデル (Helbing and Molner, 1995) に発展させたもので、個人を取り巻く環境（他者や建物）からの社会的な力で個人の行動が駆動される状態を定式化したものである。結果は、敵からの回避力、空間領域への誘引力、仲間との協調力という3つの社会的な力モデルにより熟練者の集団技能が再現された。また、初心者の集団技能は、3つのうちでも仲間との協調力を除く2つの社会的な力モデルによって再現された。このことから、敵や空間、仲間という3つの事象に対する知覚と、それに応じた行動の調整が巧みな集団技能を支える個人の社会的な技能であり、特に初心者は、仲間の動きに対して調整する技能が欠けていることが明らかになった。

## 4. まとめ

本発表では、集団スポーツのダイナミクスに関する研究のうちでも、三者の集団技能に関する研究に焦点を当てて紹介したが、著者が目指す研究の出口は以下の2つである。まずひとつは、「運動の指導場面への提言」である。現在、本発表で紹介した2つの研究から得られた知見に基づいて、仲間との協調力の獲得を支援する練習道具の開発を進めており、運動技能の獲得を促す練習道具や練習環境を明らかにしたい。もうひとつの出口は、「ヒトの社会性の理解」である。はじめに述べたように、集団スポーツで展開される対人・集団技能は、ヒトの高度な社会的な技能を観察できる格好の題材と考えられる。したがって、そこで得られた知見は、我々の日

常生活にみられる様々な集団にも一般化でき、例えば集団内で個人がどのように振る舞うべきかといったヒントに繋がると考えている。

## 文献

- Collins, J. J., and Stewart, I. N. (1993). Coupled nonlinear oscillators and symmetries of animal gaits. *Journal Nonlinear Science*, **3**: 349–392.
- Golubitsky, M., and Stewart, I. (2002). *The symmetry perspective: From equilibrium to chaos in phase space and physical space*. Basel: Birkhäuser. 〈田中玲子監訳 山田裕康・高松敦子訳 (2003). 対称性の破れとパターン形成の数理. 東京: 丸善.〉.
- Helbing, D., and Molnér, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, **51**: 4282–4286.
- Lewin, K. (1964). *Field theory in social science*. New York: Harper Torchbooks.
- Néda, Z., Ravasz, E., Brechet, Y., Vicsek, T., and Barabási, A. L. (2000). The sound of many hands clapping. *Nature*, **403**: 849–850.
- Schmidt, R. C., Brien, B. O., and Sysko, R. (1999). Self-organization of between-persons cooperative tasks and possible applications to sport. *International Journal of Sport Psychology*, **30**: 558–579.
- Takamatsu, A., Tanaka, R., Yamada, H., Nakagaki, T., Fujii, T., and Endo, I. (2001). Spatiotemporal symmetry in rings of coupled biological oscillators of *Physarum plasmodial* slime mold. *Physical Review Letters*, **87**: 078102.
- Yokoyama, K., and Yamamoto, Y. (2011). Three people can synchronize as coupled oscillators during sports activities. *PLoS Computational Biology*, **7**: e1002181.

## 平成28年度コロキウム発表要旨

平成28年度第2回2016年11月7日

演題：対人・集団スポーツに潜む規則性—多様性、ゆらぎ、可能性—

演者：山本 裕二（体育科学部）

私たちは、ここ数年間、対人・集団スポーツに潜む規則性の解明に取り組んできた。そのいくつかを紹介する。

**■対人スポーツに潜む同期** 多くの自然現象や生命現象には同期(synchronization)がみられる(Strogatz, 2003)。我々は、対人スポーツにおける二者間の詰め引きの動きにもこうした同期がみられ、その同期が二者間距離によって切り替わることを見出した(Kijima et al., 2012; Okumura et al., 2012)。そして、こうした二者間距離は学習によって獲得され、熟達した剣道選手の場合には、わずか10cmの違いを感じて、お互いの動きを切り替えていることを明らかにした。

**■対人スポーツに潜むカオス** カオスは単純な規則の決定論的に従うものの、その非線形性、初期値鋭敏性、非周期性などにより予測不可能性を示す。有名なのは、バタフライ効果と呼ばれるローレンツアトラクタである(Lorenz, 1963)。剣道の二者間距離の時間変化を、離散力学系として記述することによって、二者間攻防が6つのパターン(アトラクタ)ではほぼ説明できることを見出した。さらに、熟練者と非熟練者の違いは、有しているパターンの違いではなく、パターンの使い方であることを状態遷移確率から明らかにした(Yamamoto et al., 2013)。

**■集団スポーツに潜むフラクタル** フラクタルは、マンデルブローによって提唱されたもので、自然の複雑な造形に潜む自己相似性をさす(Mandelbrot, 1982)。サッカーのゲームにおける選手の位置を取得し、その選手の勢力範囲を定義することによって、チーム間に「前線」と呼ぶ境界が生まれる。この「前線」とボールの動きの時系列を解析した結果、そこには自己アフィンフラクタル(self-affine fractal)と呼ばれる、異方向にフラクタルな性質が潜んでいることが明らかになった。さらに、そうした動きは記憶と忘却を繰り返しており、記憶は30秒程度しかないことが明らかになった(Kijima, Yokoyama, Shima, & Yamamoto, 2014)。

**■集団スポーツに潜むネットワークダイナミクス** 「ケーニヒスブルグ(Königsberg)の橋」問題の解法を端緒とするグラフ理論(Biggs, Lloyd, & Wilson, 1976)は、6次の隔たりといわれる小さな世界(small world)(Milgram, 1967)、それを定量化したネットワーク理論に発展した(Watts & Strogatz, 1998; Barabasi & Albert, 1999)。そこで、人やモノの関係にはベキ則(power law)が成り立

ち、中心となるハブの存在が様々な場面で証明されてきた。サッカーの試合におけるパスを、ネットワーク理論という辺(edge or link)、選手を頂点(node or vertex)としてみなし、パスネットワークを解析したところ、パスネットワークにもベキ則が成り立つことが明らかになった。しかしながら、少集団で頂点の数が固定されたサッカーのパスネットワークでは、ハブへの意図的攻撃を避けるためにハブが時間的に切り替わるという現象が見出された(Yamamoto & Yokoyama, 2011)。

これらのことから、多様性とゆらぎが、対人・集団スポーツにみられる複雑に見える動きの可能性を拓いていることが示唆された。

### 文 献

- Barabási, A. & Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, **286**, 509–512.
- Biggs, N. L., Lloyd, E. K., & Wilson, R. J. (1976). *Graph theory 1736-1936*. Clarendon Press, London.
- Kijima, A., Kadota, K., Yokoyama, K., Okumura, M., Suzuki, H., Schmidt, R. C., & Yamamoto, Y. (2012). Switching dynamics in an interpersonal competition brings about 'Deadlock' synchronization of players. *PLoS ONE*, **7**, e47911.
- Kijima, A., Yokoyama, K., Shima, H., & Yamamoto, Y. (2014). Emergence of the self-similarity in football dynamics. *EPJ-B*, **87**, 41.
- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of Atmospheric Sciences*, **20**, 130–141.
- Mandelbrot, B. B. (1982). *The fractal geometry of nature*. San Francisco: W. H. Freeman. (広中平祐 訳 (1984). 『フラクタル幾何学』. 東京: 日経サイエンス.)
- Milgram, S. (1967). The small-world problem. *Psychology Today*, **1**, 61–67.
- Okumura, M., Kijima, A., Kadota, K., Yokoyama, K., Suzuki, H., & Yamamoto, Y. (2012). A critical interpersonal distance switches between two coordination modes in kendo matches. *PLoS ONE*, **7**, e51877.
- Strogatz, S. (2003). *SYNC: the emerging science of spontaneous order*. New York: Hyperion Books. (蔵本由紀 監修 長尾力 訳 (2005). 『SYNC—なぜ自然はシンクロしたがるのか—』. 東京: 早川書房.)
- Watts, D. J. & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, **393**, 440–442.
- Yamamoto, Y. & Yokoyama, K. (2011). Common and unique network dynamics in football games. *PLoS ONE*, **6**, e29638.
- Yamamoto, Y., Yokoyama, K., Okumura, M., Kijima, A., Kadota, K., & Gohara, K. (2013). Joint action syntax in Japanese martial arts. *PLoS ONE*, **8**, e72436.