原 著

直立維持における随意性の検討

時田 喬¹⁾・伊藤 八次²⁾・今岡 薫³⁾・福原 美穂³⁾

Voluntary Control of Standing Posture

Takashi Tokita¹⁾, Yatsuji Ito²⁾, Kaoru Imaoka³⁾, Miho Fukuhara³⁾

¹⁾ *Emeritus Professor, Gifu University School of Medicine*

²⁾ *Department of Otolaryngology, Gifu University School of Medicine*

³⁾ *Anima Corporation*

Standing while making an effort to reduce postural sway (corrective standing, C-standing) was compared with natural standing (N-standing) to study the peculiarities of voluntary control in standing posture. Sway of the body center of gravity was recorded with eyes open and closed with both feet close together for 60 seconds using a stabilometer.

1) Wilcoxon-test was used to compare the results. In C-standing with eyes open, the area and the ratio of low frequency bands on power spectra and the kurtosis of amplitude histogram on the x-axis (right-left movement) increased and the length/area decreased. 2) Patterns of statokinesigrams showed a non-specific type or a right-left enlargement type in C-standing with eyes open. 3) Autocorrelograms of body sway showed a loss of periodicity on the x-axis in C-standing with eyes open. 4) Attractors reconstructed from time series data obtained from the records showed a convergence of locus in the phase space on the x-axis in C-standing with eyes open.

Voluntary correction aimed at reducing the body sway in upright standing converted from rhythmic regular control (negative feedback control) depending on labyrinthine and proprioceptive reflexes to irregular adaptive control (positive feedback control) rely on visual information.

Key words: standing, autocorrelogram, attractor, voluntary control

はじめに

第一の目的は、直立姿勢の維持において随意性がどのような影響を持つか明らかにすることである。ヒトの直立は、視性・迷路性・脊髄固有反射などの姿勢反射、それを統御する中枢神経の働

き、小脳の協同運動機構、大脳核の筋緊張制御機構などの働きにより維持されているが、この直立維持に随意性がどのように働くかは必ずしも明確でない。姿勢反射が主役をしめる自然な直立と随意的に直立動揺を小さくするよう制御した直立に現れる重心動揺を比較し、直立維持における随意性の働きを検討した。

第二の目的は、重心動揺の評価をどのように行うかを検討することである。重心動揺検査は日常

¹⁾ 岐阜大学名誉教授

²⁾ 岐阜大学医学部高次情報統御学講座平衡・耳鼻咽喉科学分野

³⁾ アニマ株式会社

の臨床検査として普及してきているが、その評価には、動揺面積、単位時間軌跡長、単位面積軌跡長、前後・左右偏倚、パワースペクトル、位置・速度ベクトル、振幅ヒストグラムの標準偏差・歪度・尖度など様々のパラメーターが用いられている。2002年の第61回日本めまい平衡医学会（会長 渡辺行雄教授）においてもこの体平衡機能評価を如何にすべきかが指定演題として取り上げられている。第一の目的に掲げた直立における随意性の検討により得られた知見に基づき、重心動揺をどのような考えに基づき評価すべきかを検討した。

方 法

1. 被験者

健常者は6名、内訳は男性5名、女性1名、年齢は22-55歳である。

2. 検討事項

次の2条件における直立を比較した。

条件A 自然な直立 (natural standing, NS)。被験者には「楽に立って下さい」と指示した。

条件B 随意的に揺れを小さくするよう制御した直立 (corrective standing, CS)。被験者には、「真ん中に立つという意識を持って立って下さい」と指示した。

直立に関する他の指示、「足の体重の乗せ変えはしない」、「記録中、会話をしない」などは、日本平衡神経科学会が提示した基準的検査¹⁾²⁾と同様である。

3. 重心動揺記録と測定事項

重心動揺計（アニマ社製5500）を用い、条件AおよびBにおいて、閉足にて開眼および閉眼時の重心動揺を各60秒間記録した。動揺記録は、日本平衡神経科学会が提示した基準的方法¹⁾²⁾に従って行った。サンプリング間隔は50 msecとした。サンプリング数は1200となる。記録した重心動揺において、次の測定・検討を行った。

1) 面積（外周面積）、単位時間軌跡長、単位面積軌跡長、X軸（左右）偏倚、Y軸（前後）偏倚、ロンベルグ率、X軸・Y軸パワースペクトル低・中・高周波数帯域面積比、位置・速度ベクトル（左右方向、前後方向）、X・Y軸振幅ヒストグラムの標準偏差、歪度、尖度を測定した。条件A、Bにおける測定値を、統計ソフト Statistica (Statsoft 社) を用い、「対応のあるウ

イルコクソン符号順位検定」を行った。

2) 動揺型の判定。ニューラルネットを用いて動揺型を判定した。既報³⁾⁴⁾の如く、典型的な動揺型を示す例の測定値を入力してネットの学習を行い、作成した荷重ネットに新しい例の測定値を入力し、出力値より動揺型を判定する方法である。ネット出力値が最も大きい値をもって、①開眼記録では、大動揺型、低周波動揺型、微細動揺型、前後拡大動揺型、左右拡大動揺型、高周波動揺型、求心動揺型、前後動揺型、左右動揺型を判定した。なお、どの型のネット出力も0.5以下の場合には非特異型とした。また、2型以上で出力0.5以上を示す場合は混合型とした。計11型である。②閉眼記録では、微細型を除く10型に分類した。閉眼動揺分類に微細型がない理由は、ネット作成過程で動揺型を抽出するために行った主成分分析において、この成分が検出されなかったためである⁴⁾。

3) X・Y軸の自己相関図。相関図は、直立動揺の平均的経過の観察に用いられている⁵⁾⁶⁾。相関分析は、重心動揺計に備わった解析・表示を用いた。時間軸は±25.6秒である。相関図においては周期的振動の有無、振動の周波数、振動の減衰の速さが観察対象となる。相関図のかたちは、佐藤⁷⁾の記述を参考にして、次の3つに分けた。①周期性：一定周期の揺れの繰返しを認めるもの。振幅の減少するものも含む。②持続性：遅延時間零（相関値1）から相関値が緩やかに（10秒前後）で0に下がり、そのまま相関値零近傍の不規則な揺れを示すもの（第1種）、零を越え負になったのち再び零線に戻りその近辺に落ち着くもの（第2種）。③不規則性：遅延時間零（相関値1）から相関値が1～3秒以内で急速に下がり以後相関値零の線の近傍で周期性のない不規則な振動を示すもの。

4) アトラクタ (attractor)。アトラクタは、散逸力学系（エネルギーが逃げていく力学系）が最終的に落ち着く運動を相空間（位相空間、状態空間）に示したものである。軌道を引きつける性質からこのように呼ばれる。なお、力学系は状態点（物体の運動状態を想定する点）の運動をひき起こす機構、相空間は運動を記述する変数を座標軸とする仮想的空間のことである⁸⁾。本研究では、直立制御機構を1つの力学系と考え、重心動揺の

アトラクタにおいて随意性の影響を観察した。解析対象とした時系列信号は、X 軸・Y 軸の60秒間の振幅値である。サンプリング間隔 50 msec なので1200個の値である。アトラクタ再構成は、観測時系列から時間遅れ座標系への変換⁹⁾により行った。すなわち、1つの時系列に対し、一定の時間遅れ時系列を作り両者の2次元散布図を作成する方法である。時間遅れの値 τ の設定には、いくつかの基準が提示されている。主要周期の数分の1、自己相関関数が最初に0となる時刻などがあるが、 τ が小さ過ぎると再構成状態空間は極端に相関が高くなり、2次元再構成状態空間で再構成された軌道は、傾きが45度の直線近傍におしつぶされて分布し、逆に τ が大き過ぎると各座標は無相関となり力学系の座標軸としては不适当となる。本研究では、自己相関関数検査結果を参考として、時間遅れの値 τ を1秒とした。

結 果

1. 測定値の平均値の検定

測定項目ごとの検定結果を表1に示した。①開眼検査では、自然な直立に対し随意的に制御した直立においては、P 値0.05以下にて、面積の増加、単位面積軌跡長の短縮、Y 軸パワースペクトル低周波数帯域面積比の増加、X 軸振幅ヒストグラム尖度の増加を認めた。②閉眼検査では、随意的制御を行った直立において、P 値0.05以下

にて、Y 軸パワースペクトル高周波数帯域面積比の減少を認めた。

以上、①随意的制御の影響は開眼直立で明瞭に現れた。②閉眼にて、随意的制御を行った直立では自然な直立に比べ、面積、パワースペクトル低周波数帯域面積比、尖度が増大し、単位面積軌跡長が短縮した。

2. 動揺型のニューラルネット分類

①開眼直立における動揺型分類の結果を図1に示した。随意的に制御した直立では自然な直立に比べ5名が異なった動揺型を示した。5名の内、左右拡大型から混合型(症例1)、混合型から非特異型(症例5)に変化した例が各1例、求心型、非特異型から左右拡大型へ変化した例(症例3、4)が2名、混合型から大動揺型へ変化した例(症例2)が1例であった。②閉眼直立における動揺型分類の結果を図2に示した。随意的に制御した直立において、自然な直立と同じ動揺型を示した例(症例1、2、5)が3例、非特異型へ変化した例(症例3、6)が2名、高周波型へ変化した例(症例4)が1名である。

以上、①開眼において、随意的な制御により6例中5例が動揺型の変化を示した。その内2例は非特異型または混合型への変化、2例は左右拡大型への変化であった。②閉眼では、自然な直立と随意的に制御を行った直立で同じ動揺型を示した

表1 自然な直立に対する随意的に制御した直立における変化—重心動揺測定値において—
(対応のあるウイルクソン符号順位検定)

A: 面積, LT: 単位軌跡長, LA: 単位面積軌跡長, XPWL: X 軸パワースペクトル低周波数帯域面積比, XPWH: X 軸パワースペクトル高周波数帯域面積比, YPWL: Y 軸パワースペクトル低周波数帯域面積比, YPWH: Y 軸パワースペクトル高周波数帯域面積比, PVAE: 位置ベクトル前後方向, PVCG: 位置ベクトル左右方向, VVAE: 速度ベクトル前後方向, VVCG: 速度ベクトル左右方向, XSD: X 軸振幅ヒストグラム標準偏差, XKRT: X 軸振幅ヒストグラム尖度, YSD: Y 軸振幅ヒストグラム標準偏差, YKRT: Y 軸振幅ヒストグラム尖度, R: ロムベルグ率

測定事項		A	LT	LA	XPWL	XPWH	YPWL	YPWH	PVAE	PVCG	VVAE	VVCG	XSD	XKRT	YSD	YKRT	R
開眼	P値	0.03	0.11	0.03	0.34	0.60	0.03	0.46	0.60	0.24	0.46	0.60	0.48	0.05	0.24	0.75	
	判定	増加		短縮			増加							増加			
閉眼	P値	0.34	0.60	0.46	0.11	0.46	0.46	0.05	0.60	0.46	0.60	0.75	0.60	0.75	0.60	0.47	0.07
	判定							減少									

図1 自然な直立 (NS) と随意的に制御した直立 (CS) の比較—閉眼時の重心動揺型において—

図2 自然な直立 (NS) と随意的に制御した直立 (CS) の比較—閉眼時の重心動揺型において—

例が3例あった。動揺型の変化を示した2例は非特異型への変化であった。

3. 自己相関図

図3に、症例3 (25歳、男性) の動揺図、自己相関図を示した。図左部は動揺の記録である。図右部はこれより得た自己相関図である。相関図の所見を述べる。①閉眼検査のX軸相関図では、自然な直立において約0.1 Hzの周期の振幅が減

衰する揺らぎを認めるが、随意的に制御した直立ではこの周期性の揺らぎは消失している。Y軸相関図では、自然直立では持続性 (第1種)、随意的制御直立では持続性 (第2種) である。②閉眼検査のX軸相関図では、自然な直立において約0.2 Hzの揺れを認めるが、随意的に制御した直立ではこの周期性の揺らぎは消失している。Y軸相関図においては、自然な直立では約0.3 Hz

図3 自然な直立と随意的に制御した直立の比較—重心動揺自己相関図において—
被験者：25歳，男性。

の周期性，随意的に制御した直立では持続性（第2種）である。

6例の成績は，①開眼検査，X軸相関図では，6例中4例に自然な直立で0.1～0.5 Hzの周期性揺らぎを認めたが，4例とも随意的に制御した直立では周期性が喪失し，不規則性揺らぎを示した。自然直立で周期性を示さなかった2例は自然な直立では減衰性または不規則性で，随意的に制御した直立では2例とも減衰性であった。Y軸相関図では，自然な直立，随意的に制御した直立とも持続性が4例，周期型が不規則性となった例が1例，周期性が減衰性となった例が1例であった。②閉眼検査，X軸相関図では，自然直立で6例中5名に0.1～0.5 Hzの周期性揺らぎを認めたが，随意的制御直立で周期性を失い不規則性揺らぎとなった例が3例，周期性が残った例が2名であった。1例は自然な直立，随意的制御を行った直立とも不規則であった。Y軸相関図では，自然な直立，随意的制御直立とも不規則性または減衰性が3例，持続性または不規則性から0.1～0.2 Hzの遅い周期性となった例が2名，周期性から不規則性となった例が1名であった。

以上，①開眼，X軸相関図では，4例が自然直立で0.1～0.5 Hzの周期性を示したが，随意的制御直立では4例ともこの周期性が失われた。Y

軸相関図では，自然な直立，随意的制御直立とも，減衰性，持続性，不規則性を示す例が多かった。②閉眼，X軸相関図では，5例が自然直立で0.1～0.5 Hzの周期性を示し，3例では随意的制御直立でこの周期性が失われたが，2例では周期性が残った。Y軸では，自然な直立，随意的制御直立とも，減衰性，不規則性を示す例が多かった。随意的制御直立で遅い周期性を示した例もあった。

4. アトラクタ

図4は，症例5の動揺図とアトラクタである。図左部は重心動揺図である。図右部はこれより得たアトラクタである。アトラクタは，重心動揺X軸・Y軸におけるサンプリング値を横軸，この時系列より1秒遅れの値を縦軸とした散布図で示してある。①開眼，X軸のアトラクタは，自然直立では無構造であるが，随意的制御直立では軌跡が中心に収斂する傾向を認める。Y軸では，自然直立，随意制御直立とも，X軸随意的制御直立における如き軌道の収斂は認めがたい。②閉眼，X軸のアトラクタでは，随意的に制御した直立において軌道の収斂傾向を認める。Y軸では，自然な直立，随意的に制御した直立とも軌道に収斂を認めがたい。

6例の成績は，随意的に制御した直立におい

図4 自然な直立と随意的に制御した直立の比較—アトラクタにおいて—
被験者：39歳，男性。

て、①開眼検査、X 軸のアトラクタにおいて 5 例に軌道の収斂を認めた。Y 軸では軌道の収斂を認めがたかった。②閉眼検査においては、X 軸では 2 例、Y 軸では 2 例に軌道の収斂を認めた。

以上、①開眼、アトラクタは、自然な直立に比べ随意的制御直立では軌道の中心への収斂を認めた。Y 軸では両者とも軌道は無構造であった。②閉眼では、X 軸および Y 軸において、随意的制御直立で各 2 例に軌道の収斂を認めた。

考 察

1. 直立における随意性の検討について

動的な運動における随意性と姿勢反射の協働については、野球の捕球姿勢を始めとし各種の運動姿勢¹⁰⁾、バレエの回転¹¹⁾ などにおいて研究され、随意性は姿勢反射と協働して、運動能力を向上させていることが報告されている。これに対し、静的な姿勢維持において随意性がどのように働くかについての報告は少ない。Nishiwaki ら¹²⁾ は、楽に立つように指示した場合と揺れを小さくするように立つよう指示した場合の直立を比較し、前者に比べ後者では軌跡長が長くなることを報告している。山本ら¹³⁾ は、自然体での立位と自発的に揺れを抑えた立位での重心動揺をフーリエ解析にて研究している。

2. 直立における随意性について—観察結果より—

①自然な直立と随意的に制御した直立における重心動揺測定値についての統計学的検定では、随意的制御を行った直立において自然な直立に比べ、開眼において単位面積軌跡長の短縮、面積、パワースペクトル低周波数帯域面積比、尖度の増大を認めた。随意的制御の影響は開眼直立に現れ易く、随意的制御により動揺の面積は大きくなり、揺れの周波数は低くなり、揺れの微細さは減少し、動揺振幅のヒストグラムが鋭峰型になる。このことは、随意的制御が視覚情報を手掛かりに行われること、随意的調節は動揺面積を小さくするものではないことを示している。

②動揺型の検討において、随意的制御による動揺型の変化は閉眼より開眼に多く認められた。開・閉眼とも非特異型へ変化する傾向が認められたが、開眼では左右動揺型への変化を示す例が存在した。開眼において、動揺型が変化する傾向の多いことは、随意的制御が視覚情報に依存して行われていることを示唆している。左右動揺が出現する理由については、視角より考えると、直立姿勢の左右への変位・運動は、前後への変位・運動より認識し易い。このため、左右への姿勢調節が強く行われるためと解釈できる。なお、非特異型へ

の変化については、次に述べる相関分析の結果とあわせて、随意的制御では姿勢反射に依存する周期性がある揺れが失われるためと考えている。

③自己相関図では、開眼、左右動揺、随意的制御直立において自然な直立で現れていた周期性が失われた。自然な直立では、身体の揺らぎが刺激となり視性反射、迷路反射、固有受容器性反射などの姿勢反射が誘発され、筋活動が起こり、直立姿勢の復元が行われるが、この動きは、再び、姿勢反射受容器の刺激となり、揺らぎながら姿勢の復元・維持されている。すなわち、この姿勢反射が中心となる姿勢制御は、直立姿勢を元の状態に戻す方向へ働く負のフィードバックによる制御である¹⁴⁾。閉眼での自然な直立で周期性を認めることが多いことは、この迷路反射、自己受容性反射の役割が大きい直立制御は周期性を示し易いことを示唆する。随意的に揺れを小さくするように調節した直立ではこの周期性が喪失する。直立維持に随意性が働く時には、元の姿勢に戻る負のフィードバック制御ではなく、環境の変化に合わせ自分を切り替えていく正のフィードバック¹⁵⁾による姿勢制御が行われていることによるものと解釈している。

④アトラクタの観察では、開眼で随意的調節を行った条件で左右動揺において軌道が中心へ集まる傾向を認めた。アトラクタは、相空間での状態点の動きの落ち着く先を示すが、得られた所見は、随意的調節により重心動揺が中心に集まることを示すものと理解している。アトラクタが収束することで、動揺型、自己相関分析では得られない、直立制御における随意性の働きの一面が観察できたと考えている。アトラクタの特徴を捉えるために、フラクタル次元解析、リアプノフスペクトル解析、リカレンスプロットと呼ばれる手法があるが⁹⁾、今後の課題と考えている。

3. 重心動揺の評価について

重心動揺検査を用いて、直立における随意性について検討したが、①測定値のグループ間の統計的検討では、開眼において多くのパラメータに差が現れること、開眼において、面積が大きくなり、動揺周波数は低くなり、尖度が高くなることが把握できた。②動揺型による検討では、開眼において随意性制御による型変化が出現すること、変化として左右動揺型を示す例があることが把握

できた。③自己相関図の検討では、閉眼、左右動揺において動揺の周期性がなくなることが把握できた。④アトラクタの検討では、開眼で随意的に調節した直立において、動揺軌跡が中心に集まる傾向のあることが観察できた。

以上の如く、統計的検討とともに症例ごとに動揺型、自己相関関数、アトラクタを用いて多面的に捉えることにより、直立における随意性の働きを明らかにすることができる。

なお、以上の観察では、個々の例において一回の検査結果を基に、6例の成績より随意的調節した直立に現れる性質を検討した。個々の例における変化の再現性も1つの課題になるが、姿勢制御系を、上述の如く、環境の変化に合わせ自分を切り替えていく正のフィードバックが働く系と考える時、検査の繰り返しは直立における状況変化を与え、立ち方が切り替えられていく可能性がある。重心動揺の検査においては、一回ごとの検査で得られた結果を1つの所見と考え、その中に見いだされる揺らぎの性質を洞察することが必要と考えている。

4. 直立制御系について

「無数の構成要素からなる一まとまりの集団で、各要素が他の要素とたえず相互作用を行っている結果、全体としてみれば部分の動きの総和以上の何らかの独自の振る舞いを示すもの」は複雑系と定義されている¹⁶⁾。また、正のフィードバックは、複雑系では普遍的な仕組みとされている¹⁵⁾。直立制御は多数の制御系より制御され、各制御系は相互作用があり、個々の制御系の働きのみで全体の直立動揺は予測しがたい。また、直立制御には姿勢反射による負のフィードバック制御と時には随意性による正のフィードバック制御が働いている。直立制御系は複雑系と考える必要がある。複雑系の把握は多面的に行う必要があるとされている¹⁵⁾。上述の成績も、重心動揺を多面的に捉える必要があることを示す結果であった。

まとめ

1. 直立姿勢制御において随意性の役割を明らかにする目的で、自然な直立と随意的に揺れを小さくするように制御した直立における重心動揺を検討した。

1) 測定値の検定。①開眼検査において、随意的制御では、開眼面積の増大、単位面積軌跡長の

減少, X 軸パワースペクトル低周波数帯域面積比の増加, X 軸振幅ヒストグラム尖度の増加を示した。③閉眼検査では, 随意的調節にて Y 軸パワースペクトル高周波数帯域面積比の減少を認めるのみであった。

2) 動揺型。①開眼において, 随意的に制御した直立にて左右拡大型, あるいは特定の動揺型を呈さない非特異型・混合型が観察された。②閉眼では自然な直立と随意的直立において同じ動揺型を示す例が多かった。

3) 自己相関図。開眼において, 自然な直立で認められた周期性が随意的制御を行った直立において消失した。

4) アトラクタ。開眼において, 随意的に制御した直立では, 相空間における軌跡の収斂が認められた。

2. 重心動揺の評価について

1) 重心動揺を用いて, 自然な直立と随意的に制御した直立の差を把握するためには, 測定値の統計的検討とともに, 個々の例においてパワースペクトル, 位置・速度ベクトル・振幅ヒストグラム, 相関図, アトラクタなどを検討することが必要であった。

2) 複雑系と考えられる直立制御系の特性を把握するためには, 目的に適合した各種のパラメータを検討する必要がある。

本稿は, 平成14年, 第61回日本めまい平衡医学会(会長 渡辺行雄教授)で発表したものである。攔筆するに当たり, ご指導戴いた徳島大学名誉教授小池靖夫先生, 慶應大学竹内寿一郎先生に感謝します。

文 献

- 1) 日本平衡神経科学会: 重心動揺検査の基準. Equilibrium Res 42: 367-369, 1983
- 2) 日本平衡神経科学会運営委員会(担当; 徳増厚二, 田口喜一郎, 渡辺行雄): 重心動揺検査の Q & A, 手引き (1995). Equilibrium Res 55: 64-77, 1996
- 3) 時田 喬, 徳増厚二, 今岡 薫, 他: ニューラルネットを用いた健常者の重心動揺の分類. Equilibrium Res 60: 181-187, 2001
- 4) 時田 喬: 重心動揺検査. 68-77頁, アニマ社, 東京, 2002
- 5) 時田 喬, 宮田英雄, 藤垣 熙, 他: 直立時の身体動揺の分析—動揺の多現象記録と相関分析による—. 耳鼻臨床 63: 363-387, 1970
- 6) Tokita T, Miyata H, Matsuoka T, et al: Correlation analysis of the body sway in standing posture. Agressologie 17 B: 7-14, 1976
- 7) 佐藤謙助: 脳の情報処理 (データ処理の手法). 間田直幹, 内園耕二編. 新生理学上巻. 670-677頁, 医学書院, 東京, 1965
- 8) 科学シュミレーション研究会: パソコンで見る複雑系・カオス・量子. 13-52頁, 講談社, 東京, 1997
- 9) 合原一幸: カオス時系列解析の基礎と応用. 13-80頁, 121-198頁, 産業図書, 東京, 2000
- 10) 福田 精: 運動と平衡の反射生理 (第2版). 1-43頁, 医学書院, 東京, 1980
- 11) 時田 喬: からだのバランス—平衡生理学的観点より—. JOHNS 14: 763-769, 1998
- 12) Nishiwaki Y, Takebayashi T, Imai A, et al: Difference by instructional set in stabilometry. J Vestib Res 10: 157-161, 2000
- 13) 山本昌彦, 吉田友英, 野村俊之, 他: 自然立位姿勢と自発性立位姿勢の体平衡変化について—FFT の詳細解析—. Equilibrium Res 61: 350, 2002
- 14) Tokita T, Takagi K, Ito Y: Analysis of the vestibulo-spinal system with a five-dimensional feedback model. Acta Otolaryngol (Stockh) 104: 322-327, 1987
- 15) 西山賢一: 「複雑系」で, 不可解な世の中を解く. 29-34頁, 198-202頁, ごま書房, 東京, 1997
- 16) 吉永良正: 複雑系とは何か. 1-20頁, 講談社, 東京, 1997

(原稿到着: 平成15年2月7日
別刷請求先: 時田 喬
〒502-0851 岐阜市鷺山草平町1476)