様式Ｃ－１９

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　２４日現在

機関番号：１７１０２
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2009～2011
課題番号：２１６５８０８９
研究課題名（和文）　４次元成長力学の構築と牧草個体への適用による空間構造形成過程の解析
研究課題名（英文）　Constructing 4-dimensional growth dynamics and analyzing the process of space structure formation of an individual forage plant

研究代表者
下條　雅敬（SHIMOJO MASATAKA）
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：５０１３６５４５

研究成果の概要（和文）：初等成長関数とその第一次・第二次導関数とを組み合わせて得られた数式について、ニュートンの運動方程式および特殊相対性理論との類似性に着目し、４次元成長力学としての諸性質を導出した。牧草個体の成長解析への適用研究において、純成長加速度(単位葉面積当たりの重量の成長加速度)に関し、時間１次元方向の成長と空間３次元方向の成長の計４種類の値を求め、さらにそれらの２乗の値を用い、空間方向の値(高さ方向の値＋横幅方向の値＋奥行方向の値)と時間方向の値との比が、植物個体の成長に伴う空間構造形成過程の解析に有用であることを認めた。

研究成果の概要（英文）：Basic growth function was combined with its first and second derivatives to form a new equation, which was then investigated to derive its 4-dimensional properties based on analogies with Newton's law of motion and special relativity. In its application to the growth analysis of an individual forage plant, the squared value of net growth acceleration for plant weight (NGA: growth acceleration for plant weight per unit of leaf area) was calculated for the growth along time axis (t), that along height axis (x), that along width axis (y), and that along depth axis (z). The ratio of NGA squared in 3-dimensional space (the sum of x, y and z) to that in time (t) was considered useful to analyze the process of space structure formation with the growth of an individual forage plant.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２００９年度	1,500,000	0	1,500,000
２０１０年度	500,000	0	500,000
２０１１年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総　計	2,700,000	210,000	2,910,000

研究分野：農学
科研費の分科・細目：畜産学・獣医学、畜産学・草地学
キーワード：草地利用

１．研究開始当初の背景

（１）牧草個体の成長に伴う重量増加については、従来、１次元の時間軸に沿った解析は行われてきたが、３次元の空間軸に沿った解析についてはほとんど報告がない。

（２）本研究の代表者は、４次元成長力学(空間３次元＋時間１次元)の構築が必要である

と考え、研究を進める上での参考になるアイディアとして、成長力学と運動力学との類似性に着目している。

２．研究の目的

（１）牧草個体の成長に伴う空間構造形成過程を解析するため、初等成長関数に基づいた４次元成長力学（空間３次元＋時間１次元）の構築とその力学的性質について、運動力学との類似性を参考にしながら、追究した。

（２）指数増加する初等成長関数について、漸近性を示す複数の成長関数と比較検討することにより、古典成長関数の中での位置付けを行った。

（３）４次元成長力学を牧草個体の成長解析に適用し、時間軸方向と空間軸方向の成長を調査することにより、時空連続体の観点から成長に伴う空間構造形成過程を追究した。

３．研究の方法

（１）初等成長関数とその第一次・第二次導関数とを組み合わせて微分方程式を得、その解の集合が表現する諸現象について、ニュートンの運動方程式との類似性ならびに特殊相対性理論での時間と空間の等価性を参考にして検討し、４次元成長力学の構築を図った。

（２）指数増加する初等成長関数について、漸近性を示す５つの関数（ベルタランフィ関数、リチャーズ関数、ミッチェルリッヒ関数、ロジスティック関数、ゴンペルツ関数）と比較検討した。

（３）４次元成長力学を牧草個体の成長解析に適用し、時空連続体の観点から、その有用性を検討した。

４．研究成果

（１）初等成長関数の力学的性質

①初等成長関数(1)をその第一次導関数(2)および第二次導関数(3)と組み合わせて、式(4)と式(5)を得た。

$W = W_0 \cdot \exp(r \cdot t)$ ‥(1)

$dW/dt = W_0 \cdot r \cdot \exp(r \cdot t)$ ‥(2)

$d^2W/dt^2 = W_0 \cdot r^2 \cdot \exp(r \cdot t)$ ‥(3)

$(dW/dt)^2 = W \cdot (d^2W/dt^2)$ ‥(4)

$= W_0{}^2 \cdot r^2 \cdot (\exp(r \cdot t)^2)$ ‥(5)

式(4)は、(成長速度の２乗)＝(重量)･(成長加速度)であり、(運動量の時間変化)＝(質量)･(運動加速度)で表されるニュートンの運動方程式に類似していることから、成長力学を表す式とみなした。

また、式(4)と同じ内容の式(5)は、(成長速度の２乗)＝(重量の２乗)･(相対成長率の２乗)･(指数関数の２乗)であり、(エネルギーの２乗)＝(質量の２乗)･(光速の４乗)＋(運動量の２乗)･(光速の２乗)で表される時空４次元の特殊相対性理論と同様、全項が２乗の形となった。したがって、特殊相対性理論で正と負のエネルギーが許されるように、成長力学においても重量(W)は正と負の値をとることが判明し、同じ現象が成長速度(dW/dt)、相対成長率(r)および指数関数(exp(r･t))でも示された。正と負の重量は、エネルギー保存則と関係し、植物重量の増加と外部環境での物質重量の減少(植物に吸収される水・二酸化炭素・土壌栄養素・太陽エネルギー等)との和がゼロになることを裏付けた。

しかし、エネルギー保存則以外では、負の重量は現実には存在しないことから、負の重量を表す式(6)が、正の重量を表す式(7)に修正されることで、負の重量の矛盾は解決されることが検討された。

$-W = -W_0 \cdot \exp(r \cdot t)$ ‥(6)

$W = W_0 \cdot \exp((-r) \cdot (-t))$ ‥(7)

修正式(７)は、時間反転項(−t)を含むことから、植物に吸収される外部環境の物質が、植物の成長以前に時間をさかのぼって存在していることを示し、外部環境から既存の物質を吸収することで成長現象が生じる因果関係を裏付けることが示された。

時間軸に沿った成長を表す式(6)と式(7)において、時間(t)を空間(x, y, z)に置き換えることが出来る。その場合、負の重量と空間との結び付きについては、時間の場合と同様、(-W, r, x, y, z)→(W, -r, -x, -y, -z)、のように空間反転を伴って変換され、正の重量で表される光合成の材料が存在するための空間が、植物体の外に要求されることになった。したがって、植物の生存と成長にとって光合成の材料を含む外部空間の存在とそれを準備するための時間が必須のものであることが数学的に示された。なお、成長力学における負の重量を正の重量に変換する場合、時間反転および空間反転とともに、相対成長率(r)の符号変換も生じることから、量子論におけるCPT変換(電荷反転､空間反転､時間反転)に類似しているように見えた。

②初等成長関数で用いる指数関数は、式(8)と式(9)に示すように、双曲線関数を介して特殊相対性理論のローレンツ因子と関係していることが知られている。

$(\exp(\theta) + \exp(-\theta))/2$

$= \cosh(\theta)$

$= 1/((1-v^2/c^2)\hat{}0.5)$ ‥(8)

$(\exp(\theta) - \exp(-\theta))/2$

$= \sinh(\theta)$

$=(v/c)/((1-v^2/c^2)^{0.5})$　··(9)
次に、式(8)と式(9)から、式(10)と式(11)を得た。
$\exp(\theta)=((1+v/c)/(1-v/c))^{0.5}$　··(10)
$\exp(-\theta)=((1-v/c)/(1+v/c))^{0.5}$　··(11)
式(10)の右辺[$((1+v/c)/(1-v/c))^{0.5}$]は、ボンディＫ因子と呼ばれ特殊相対性理論に関係していることから、拡大解釈をすれば、指数関数はボンディＫ因子であり、指数増加それ自体が４次元の現象のように見えるかもしれないことが示唆された。事実、相対性理論と量子論が関係する宇宙誕生初期における空間のインフレーション的膨張は、指数関数で表されている。

　しかし、空間の膨張と物質の重量増加とは異なる現象である。しかし、空間は空っぽではなくエネルギーが存在し、空間の膨張とともにその量が増大するエネルギーの存在も示唆されていることから、物質の重量増加と空間の膨張とを関係づけることを試みた。すなわち、式(1)と式(10)との仮説的関係から、式(12)を推察した。
$\exp(r\cdot t)=((1+v/c)/(1-v/c))^{0.5}$　··(12)
また、式(12)を変形し、その左辺にｃを付け加えた式(13)を得、左辺と右辺とが類似する形式となるように試みた。
$((\ln(W_2\cdot c^2)-\ln(W_1\cdot c^2))/(t_2-t_1))$
$\cdot(t_2-t_1)$
$=\ln(((1+v/c)/(1-v/c))^{0.5})$　··(13)
式(12)において、運動エネルギーに関係する v 値の増加により右辺の値は増加することから、左辺でも相対成長率ｒ値の増加はエネルギー値の増加により生じることが示された。その結果、式(13)に示すように重量も増加することが示された。

　また、式(12)の右辺には次元がないため、左辺の exp(r·t)における時間(t)を空間(x, y, z)に置き換えることも可能で、この場合、エネルギー(v)の増加と空間(x, y, z)の膨張との関係が示唆された。

③時空連続体の概念については、例えば、時間と空間の等価性を示した特殊相対性理論での関係式(14)が考えられるかもしれない。
$x^2+y^2+z^2=c^2t^2$　··(14)
これは、成長力学では、１つの時間軸と３つの空間軸に沿った重量変動に関係するパラメーターを２乗して用いる試みを示唆しているように見えた。

④本研究では、指数関数とボンディＫ因子との等価性から、下記の追加研究が行われた。すなわち、ボンディＫ因子を式(15)に変形し、
$((1+v/c)/(1-v/c))^{0.5}$
$=((c/v+1)/(c/v-1))^{0.5}$　··(15)
ｖの制限(v＜c)を越えて、v→∞と置くと、式(15)→$(-1)^{0.5}$＝i(虚数単位)となり、ボンディＫ因子すなわち指数関数は虚数単位に崩壊することが示唆された。また、v→∞をローレンツ変換にも適用すると下記のようになり、
$c\cdot t'=c\cdot t\cdot\cosh(\theta)-x\cdot\sinh(\theta)$
$\rightarrow\ c\cdot t\cdot 0-x\cdot(-i)=i\cdot x$　··(16)
$x'=x\cdot\cosh(\theta)-c\cdot t\cdot\sinh(\theta)$
$\rightarrow\ x\cdot 0-c\cdot t\cdot(-i)=i\cdot c\cdot t$　··(17)
$m'=m\cdot(1/((1-v^2/c^2)^{0.5}))$
$\rightarrow\ m\cdot 0=0$　··(18)
質量のある実数の時空間は質量のない虚数の時空間に変換され、また式(19)から、
$i=\exp(i(\pi/2))$　··(19)
波動関数の出現が示唆された。これらのことは、間違いを恐れずに大胆に推察すれば、特殊相対性理論により禁止されている無限大の速度(瞬間移動)が波動関数に吸収・変換され、複数の場所に同時に存在する量子的共存を示唆しているものと推察された。

(２)古典成長関数の中での初等成長関数の位置付け

　初等成長関数を元に構築された成長力学については、上記に示したように、運動力学との類似性を通して、その４次元的諸性質が導出された。しかし、指数増加する初等成長関数については、植物の成長後期では重量が頭打ちになることから、シミュレーション精度の劣ることが知られている。そこで、本研究では、漸近性を示す５つの成長関数を取り上げ[ベルタランフィ関数(W_V)、リチャーズ関数(W_R)、ミッチェルリッヒ関数(W_M)、ロジスティック関数(W_L)、ゴンペルツ関数(W_G)]、それらと比較検討することにより、初等成長関数(W_B)の位置付けを行った。
$W_V=(\alpha/\beta-(\alpha/\beta-W_0{}^{1-m})$
$\cdot\exp(-\beta(1-m)t))^{1/(1-m)}$　··(20)
$W_R=A\cdot(1-b\cdot\exp(-k\cdot t))^{1/(1-m)}$　··(21)
$W_M=A\cdot(1-b\cdot\exp(-k\cdot t))$　··(22)
$W_L=A/(1+b\cdot\exp(-k\cdot t))$　··(23)
$W_G=A\cdot\exp(-b\cdot\exp(-k\cdot t))$　··(24)
$W_B=W_0\cdot\exp(r\cdot t)$　··(25)
式(20)～式(24)に示すように、漸近性を示す関数については、いずれも指数減少関数を含むことから、式(11)で示すように、それらが表す成長は４次元の現象のように見えるかもしれないことが示唆された。

　ここで、初等成長関数の力学的関係式(4)を変形して、式(26)を得た。
$(dW_B/dt)^2/(W_B\cdot(d^2W_B/dt^2))=1$　··(26)
次に、式(26)の左辺の形を漸近性を示す式(20)～式(24)の関数に適用し、それぞれの力学的関係式を得た。
$(dW_V/dt)^2/(W_V\cdot(d^2W_V/dt^2))$
$=((\alpha/\beta-W_0{}^{1-m})\cdot\exp(-\beta(1-m)t))/$
$((\alpha/\beta-W_0{}^{1-m})\cdot\exp(-\beta(1-m)t)$
$-(\alpha/\beta)\cdot(1-m))$　··(27)

$(dW_R/dt)^2/(W_R \cdot (d^2W_R/dt^2))$
$=(b \cdot \exp(-k \cdot t))/$
$(b \cdot \exp(-k \cdot t)-(1-m))$ ‥(28)
$(dW_M/dt)^2/(W_M \cdot (d^2W_M/dt^2))$
$=(b \cdot \exp(-k \cdot t))/(b \cdot \exp(-k \cdot t)-1)$ ‥(29)
$(dW_L/dt)^2/(W_L \cdot (d^2W_L/dt^2))$
$=(b \cdot \exp(-k \cdot t))/(b \cdot \exp(-k \cdot t)-1)$ ‥(30)
$(dW_G/dt)^2/(W_G \cdot (d^2W_G/dt^2))$
$=(b \cdot \exp(-k \cdot t))/(b \cdot \exp(-k \cdot t)-1)$ ‥(31)

式(26)～式(31)において各式の右辺は関数の複雑性を示すことが判明し、複雑性の順に、ベルタランフィ関数(W_V)＞リチャーズ関数(W_R)＞ミッチェルリッヒ関数(W_M)＝ロジスティック関数(W_L)＝ゴンペルツ関数(W_G)＞初等成長関数(W_B)となった。ベルタランフィ関数(W_V)の短縮型がリチャーズ関数(W_R)である。また、ミッチェルリッヒ関数(W_M)、ロジスティック関数(W_L)およびゴンペルツ関数(W_G)については、式(22)～式(24)に示すように数式の形は異なるものの、複雑性は等しくなったことから[式(29)～式(31)]、３つの関数が類似していることの裏付けとなった。また、式(29)～式(31)で左辺の W_M、W_Lおよび W_Gを相互に入れ換えても右辺の形は変わらない置換対称性が認められた。

ここで、式(27)において、$\alpha/\beta-W_0{}^{1-m}=b$、$\alpha/\beta=1$、$\beta(1-m)=k$、$m\neq1$ と置くことにより、ベルタランフィ関数(W_V)の力学的関係式(27)は、リチャーズ関数(W_R)の力学的関係式(28)に帰着した。$\alpha/\beta-W_0{}^{1-m}=b$、$\alpha/\beta=1$、$\beta(1-m)=k$、$m=0$ と置くと、ベルタランフィ関数(W_V)の力学的関係式(27)は、ミッチェルリッヒ関数(W_M)、ロジスティック関数(W_L)およびゴンペルツ関数(W_G)の力学的関係式[式(29)～式(31)]に各々帰着した。$\alpha/\beta\neq1$、$m=1$ と置くと、ベルタランフィ関数(W_V)の力学的関係式(27)は、初等成長関数(W_B)の力学的関係式(26)に帰着した。初等成長関数(W_B)と３つの関数[ミッチェルリッヒ関数(W_M)、ロジスティック関数(W_L)、ゴンペルツ関数(W_G)]における力学的関係式の間には、越えられない壁[$(b \cdot \exp(-k \cdot t))/(b \cdot \exp(-k \cdot t)-1)\neq1$]の存在することが認められた。以上の結果、漸近性と指数増加を合わせ持つベルタランフィ関数(W_V)とリチャーズ関数(W_R)、漸近性を示す３つの関数[ミッチェルリッヒ関数(W_M)、ロジスティック関数(W_L)、ゴンペルツ関数(W_G)]および指数増加する初等成長関数(W_B)において、関数間の階層構造が認められた。この統一的に導ける階層構造は、ベルタランフィ関数(W_V)を導出するための微分方程式(32)が、

$dW_V/dt=\alpha \cdot W_V{}^m-\beta \cdot W_V$ ‥(32)

同化項($\alpha \cdot W_V{}^m$)と異化項($\beta \cdot W_V$)の差で表されて植物個体の生理現象を示していること、成長現象が力学的現象であること、の２つが原因となって出現したものと考えられた。

（３）４次元成長力学の牧草個体の成長解析への適用

イネ科草(トウモロコシ)とマメ科草(ファジービーン)について、節間伸長期における２８日間の成長を前半１４日間の成長と後半１４日間の成長とに分け、それぞれの期間における成長解析を行った。成長力学の重要項目である植物重量に関する純成長加速度(単位葉面積当たりの成長加速度)について、表１(時間方向の成長)、表２(高さ方向の成長)、表３(横幅方向の成長)および表４(奥行方向の成長)に分けて示した。

表１　純成長加速度(g/m²/日²)：時間方向

	前半の成長	後半の成長
イネ科	1.567	0.441
マメ科	1.180	1.046

表２　純成長加速度(g/m²/cm²)：高さ方向

	前半の成長	後半の成長
イネ科	0.168	0.040
マメ科	0.164	0.016

表３　純成長加速度(g/m²/cm²)：横幅方向

	前半の成長	後半の成長
イネ科	0.186	0.251
マメ科	0.687	1.150

表４　純成長加速度(g/m²/cm²)：奥行方向

	前半の成長	後半の成長
イネ科	0.325	0.259
マメ科	1.251	1.100

純成長加速度が大きいことは、時間あるいは空間の軸上での正方向への変動に対する重量増加量が大きいことを示す。横幅方向の成長において、純成長加速度が前半と比べ後半の成長で大きくなった(表３)。これと逆の現象が、高さ方向の成長で示された(表２)。時間方向と奥行方向の成長におけるマメ科草の純成長加速度は、前半と後半の成長で大きな変動を示さず、イネ科草の場合とは異なる傾向となった(表１と表４)。

次に、時間方向の成長と空間方向の成長を組み合わせて検討するため、表１～表４のすべての純成長加速度を２乗し、空間方向の値(高さ方向の値＋横幅方向の値＋奥行方向の値)と時間方向の値との比を算出し、表５に示した。

表５　純成長加速度²（空間方向／時間方向）

	前半の成長	後半の成長
イネ科	0.069	0.676
マメ科	1.481	2.316

純成長加速度の２乗に関する空間方向と時間方向の比は、前半より後半の成長で、またイネ科草よりマメ科草で、それぞれ高い値を示した。すなわち、前半の成長では時間軸上での変動、後半では空間軸上での変動、に対して植物の重量増加の大きくなることが示され、このことは、イネ科草よりマメ科草で顕著に現れることが認められた（表５）。

本研究の結果、成長力学と運動力学（ニュートンの運動方程式と特殊相対性理論）との類似性を参考にすることにより、４次元成長力学について、その諸性質が導出されるとともに、植物個体の成長解析における有用性が認められた。

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１０件）
① Masataka Shimojo, Tao Shao, Jun Tanoue, Hidetoshi Kakihara, Chiemi Sata, Hayato Fukudome, Reiko Ishiwaka, Yoki Asano, Yutaka Nakano, Manabu Tobisa and Yasuhisa Masuda, Introducing viewpoints of mechanics into basic growth analysis - (XI) Negative weight problem in basic growth functions and its hypothetic avoidance by sign reversal of relative growth rate, space inversion and time reversal -, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.54, No.2, 2009, 353-355.
② Masataka Shimojo, Tao Shao, Satoshi Ishimatsu, Jun Tanoue, Hidetoshi Kakihara, Chiemi Sata, Hayato Fukudome, Reiko Ishiwaka, Yoki Asano, Yutaka Nakano, Manabu Tobisa and Yasuhisa Masuda, Introducing viewpoints of mechanics into basic growth analysis - (XIII) Comparing growth mechanics between logistic functions and basic growth functions -, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.54, No.2, 2009, 361-363.
③ Masataka Shimojo, Tao Shao, Yutaka Nakano, Hidetoshi Kakihara and Manabu Tobisa, Introducing viewpoints of mechanics into basic growth analysis - (XIV) Growth dynamics and related problems based on mathematical properties of modified differential equation for growth -, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.55, No.2, 2010, 253-257.
④ Masataka Shimojo, Yutaka Nakano, Hidetoshi Kakihara, Tao Shao and Manabu Tobisa, Introducing viewpoints of mechanics into basic growth analysis - (XV) Relationships between Richards growth function and basic growth function -, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.55, No.2, 2010, 259-260.
⑤ Masataka Shimojo, Yutaka Nakano, Manabu Tobisa and Tao Shao, Comparison between Richards growth function, its family growth functions and basic growth function, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.56, No.1, 2011, 75-76.
⑥ Masataka Shimojo, Manabu Tobisa and Yutaka Nakano, An application of the golden ratio and Fibonacci numbers to analyses of canopy structure of forage plants, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.56, No.1, 2011, 77-78.
⑦ Masataka Shimojo, Symmetry in motion in Euler's formula and its breakdown in hyperbolic function and growth function, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.56, No.1, 2011, 79-81.
⑧ Masataka Shimojo, Exponential function, Bondi K-factor and imaginary unit, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.56, No.2, 2011, 285-286.
⑨ Masataka Shimojo, Yutaka Nakano, Manabu Tobisa and Tao Shao, Deriving five growth functions from Bertalanffy function based on symmetry and complexity, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.57, No.1, 2012, 151-152.
⑩ Masataka Shimojo and Yutaka Nakano, Mathematical relationships between

basic growth function and Bondi K-factor, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無、Vol.57, No.1, 2012, 153-154.

〔学会発表〕(計６件)

① 下條雅敬・石松 慧・中野 豊、初等成長関数の力学的性質、2010 年度日本草地学会・三重大会、2010 年 3 月 28 日、津市(三重大学三翠ホール)、Vol.56、別号、pp.143.
② 下條雅敬・中野 豊・柿原秀俊、初等成長関数とリチャーズ成長関数、第３回日本暖地畜産学会・大分大会、2010 年 10 月 17 日、別府市(別府亀の井ホテル)、Vol.53、No.2、pp.228.
③ 下條雅敬・中野 豊、数種の成長関数における関連性について、2011 年度日本草地学会・宇都宮大会、2011 年 3 月 27 日、宇都宮市(宇都宮大学大学会館)、Vol.57、別号、pp.153.(東日本大震災のため、講演要旨の発行をもって発表とすることが評議員会で決定)
④ 下條雅敬・中野 豊、ベルタランフィ関数と初等成長関数、第４回日本暖地畜産学会・沖縄大会、2011 年 10 月 29 日、那覇市(沖縄産業支援センター)、Vol.54、No.2、pp.256.
⑤ Masataka Shimojo, Yutaka Nakano and Hidetoshi Kakihara, Dynamic aspects of Richards function, logistic function and basic growth function, The 8th International AFAS Joint Symposium between Japan and Korea - The recent status and perspectives of agriculture, forestry, and animal sciences in 2011 -, 2011 年 11 月 16 日、米子市(米子コンベンションセンター)、Abstracts, pp.86.
⑥ 下條雅敬・中野 豊、数種の成長関数における階層構造、2012 年度日本畜産学会・第 115 回大会、2012 年 3 月 29 日、名古屋市(名古屋大学ＥＳ総合館)、講演要旨、pp.185.

６．研究組織

(1)研究代表者
下條　雅敬 (SHIMOJO MASATAKA)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：５０１３６５４５

(2)研究分担者
(　　)

研究者番号：

(3)連携研究者
(　　)

研究者番号：