

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 7 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500316

研究課題名(和文) 前方後円墳にもとづく邪馬台国の情報学的研究

研究課題名(英文) Computer scientific analysis on the ancient kingdom, called Yamatai-koku, based on properties of a set of the oldest Keyhole-shaped ancient tomb mounds

研究代表者

小沢 一雅 (Ozawa, Kazumasa)

大阪電気通信大学・情報通信工学部・客員研究員

研究者番号：40076823

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文)：昨今、邪馬台国時代に前方後円墳が築かれはじめたとする見解がマスコミを主流として喧伝されている。本研究は、こうした動きを支えている感覚的な理解のあり方の妥当性を数理的な分析によって検証する。まず、畿内を中心として各地に遺存する最古級前方後円墳(古墳時代草創期を画する)の全体から導かれる特性値を抽出する。一方、邪馬台国が記述されている魏志倭人伝の30ヶ国の人口から導かれる分布特性(べき乗則の特性)を抽出する。この2つの特性値を基礎にした比較分析、およびシミュレーション研究を通じて標記の見解に妥当性がないことが示唆される結果を得た。

研究成果の概要(英文)：In recent days, a kind of understanding to Japanese ancient history has been growing in the news media: To summarize, Keyhole tomb mounds began to be built in the time of the ancient kingdom, Yamatai-koku, in the mid-third century. This idea might be introduced by an intuitive and non-numerical sense rather than by scientific reasoning. This research project aims at verifying such understanding in a quantitative way of analysis. First, a set of the oldest Keyhole tombs have been selected. Then an attribute value has statistically been extracted from the set. Next, populations of 30 countries in Japanese islands, including Yamatai-koku, appeared in an ancient Chinese document have been listed to compute another attribute value (fractal dimension) of their distribution, assumed to be with the power law. Finally a reasonable result has been obtained both by a quantitative analysis on the above two attribute values and by computer simulations.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・図書館情報学・人文社会情報学

キーワード：前方後円墳 邪馬台国 考古学 歴史情報学 数理 コンピュータ

## 1. 研究開始当初の背景

( 1 ) 本研究代表者は、すでに前方後円墳について、長年情報工学的方法を導入して墳丘の形態研究、データベース開発、あるいは前方後円墳ネットワークの導出研究等に従事してきた。こうした工学的研究から利便性の高い種々の研究用ツールが開発されるとともに、従前にはなかった前方後円墳に関する新しい数理的知見群も得られていた。

( 2 ) 従前の研究によって得られた数理的知見群は、個々には興味深い内容をもってはいるが、それら全体が古代国家黎明期の歴史形成とどういのかかわりをもつかについて、一歩踏み込んだ歴史研究の必要性を痛感し、2007 年度～2010 年度の基盤研究 ( B ) において古墳時代の歴史復元にとり組んだ。その結果、従前の歴史学・考古学分野における歴史理解とは異なる古墳時代像が描かれることとなった。

( 3 ) この研究成果の延長線上にさらなる研究課題が見えてきた。すなわち、古墳時代の前夜である邪馬台国の時代がいかなる時代であったか、それがどのように古墳時代へと変貌していったのか、といった古代社会の変遷過程について、情報学的方法による新たな研究を展開する必要性を痛感するに至った。

## 2. 研究の目的

( 1 ) 昨今、邪馬台国時代に前方後円墳が築かれはじめたとする見解がマスコミを主流として喧伝されている。この見解は、前節で述べた基盤研究 ( B ) の研究結果とはかなり隔たりがある。本研究は、こうした昨今の動向を支えている感覚的ともいえる歴史理解のあり方が妥当か否かを数理的分析によって検証することを主たる目的とする。

( 2 ) 本研究の目的を達成するための具体的な作業項目を列挙すれば、以下のとおりである。

畿内を中心として各地に遺存する最古級前方後円墳 ( 前方後方墳を含む ) で墳丘長 50m 以上の古墳を選抜して最古級古墳集合とする。この古墳集合について、各個の墳丘長から換算式を用いて墳丘体積に変換した古墳体積データを作成する。

魏志倭人伝に邪馬台国とともに記載されている 30ヶ国の戸数を戸数データとして整理する。戸数が不明の国々については、従前の研究で導いた推定値を用いる。

上記の古墳体積データを基礎にして体積分布の特性を抽出する ( べき乗則分析 )。

上記の戸数データを基礎にして戸数分布の特性を抽出する ( べき乗則分析 )。

Mark Buchanan の数理モデルを援用した 30ヶ国の戸数変遷過程のコンピュータシミュレーションを実施する。

## 3. 研究の方法

( 1 ) 歴史にはさまざまな数値情報があるが、重要であっても計量できないものがある。歴史の進行とともに一貫して単調増加してきた知識の総量 ( 情報量 ) がそれである。いまや人類のもつ知識の総量は、( 何ビットなど ) 計量することもできないほど膨大な量に達していると想像される。人類という知的生物の比類なき能力は、知識の獲得とその蓄積能力にあるといっても過言ではない。近代における産業の進歩や生産力の急激な増加といった現象も、根源的にみれば、累々と蓄積された知識の活用成果にほかならない。たとえば、人類史における数値情報として人口を例にとってみると、増加期、停滞期、あるいは減少期が不規則に反復し、必ずしも増加一辺倒ではなかった。減少期が続くと、祖先たちは滅亡への危機感からそれを克服する手段を必死に模索したであろう。首尾よくそれが獲得できれば、知識として蓄積できたと考えられる。成功も知識、失敗も知識として蓄積されたはずである。いわゆる文化・文明は、このように一貫して単調増加してきた知識の反映として生み出されてきたものと考えべきであろう。

一方、地球上の各地域で展開されてきた歴史における、多様でドラマチックな社会変動のありようは、人類の進化の底流にある知識の単調増加だけでは説明できないことも事実である。本研究の方法論として、歴史は偶発的な事象によって生じる変動の軌跡としてとらえていく立場をとることとした。こうした歴史認識の方法は、Mark Buchanan のいう、人間社会を非平衡状態 ( あるいは臨界状態 ) にある個体の集団とみるとらえ方と軌を一にする。

日本古代を数理という視点から探究するにあたって、これまで本研究代表者が試行したいいくつかの事例研究をとりあげ、そこに現れた数値情報 ( データ ) について上記の新たな方法論の視点から再検討する。すなわち、偶発的な事象の発生を暗示させる “ べき乗則 ” が成立しているかどうか、もし成立している場合には、どういった知見が導かれるか、等々について考察と分析を加えていく。

( 2 ) 1 基の前方後円墳を築造するために必要な労働量 ( たとえば “ 人日 ” といった単位で測定される量 ) を大雑把にみれば、その墳丘体積に比例すると考えてよいだろう。さらに、動員できる労働量は支配人口に比例するとみなすと、大きい支配人口をもつ勢力 ( 国 ) は、首長墓として、それに見合った大型の前方後円墳を築造することができたと考えられる。このように、みかけ上異質の数量である魏志倭人伝の「国」の戸数と、古墳の墳丘体積とが、比例関係で結ばれるということになれば、2つの分布特性の比較論が成立する。つまり、両者が同時代であるなら、2つの分

布特性も同一でなければならぬはずである。こうした観点から、比較論を実施する。

(3) 上記(1)でいう、べき乗則とは、近年、フラクタルや複雑系の科学の分野で注目を集めている確率的な分布形をいう。ここでは具体的な事例で要点をまとめる：

いま、日本の2012年の都市人口を降順にならべてみる。トップはなんとといっても東京であって、895万人(特別区内)。第2位は横浜市で369万人。第3位は大阪市で267万人。以下、名古屋市、札幌市、神戸市、京都市・・・と続いていく。最後尾は、第789位の歌志内市(北海道)で、人口約4千人である。789都市が人口という数値で順位づけられる。固有名詞である市名を捨象して、つぎのように数式的に表現する。

$$P_m = \text{第 } m \text{ 位の都市人口} \\ (m = 1, 2, \dots, 789)$$

さて、このように順位づけられた都市人口はつぎの数式(べき乗関数)で高精度に近似できることが判明している。

$$P_m = A m^{-D} \quad (a)$$

ただし  $A$  と  $D$  は、分析対象となるデータ(ここでは上記の都市人口データ)によって決まる定数である。 $D$  は(フラクタル)次元とよばれている。一般的にいえば、次元とはデータの分布全体との対比において、局所への量の集中度を表す尺度になっている。ちなみに、2012年の都市人口から算出される2つの定数の値は、それぞれ  $A = 1000$  万 および  $D = 0.91$  である。図1に、この定数の場合のべき乗関数を曲線としてグラフ化している(60位までを表示、以降は省略)。

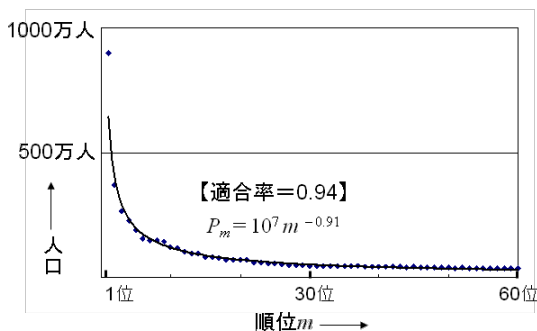


図1 都市人口のべき乗則分析 (60位まで表示)

図1の曲線が実際の都市人口の分布にどれだけフィットしているかを適合率( $R^2$ 値)として定量的に評価することができる。図1の曲線の適合率は0.94(94%)であって、非常に高い。まさに高精度の近似である。

一般に、データ分布が式(a)の形で高精度に近似できるとき、べき乗則にしたがうという。適合率がどの程度以上なら高精度とい

えるかについては、経験則から、本研究では0.90以上という基準を設定している。

本研究における歴史学・考古学データのべき乗則分析においても、 $A$  と  $D$  および適合率を算定することが分析の基礎になる。

(4) Mark Buchanan は、べき乗則が現れる根底には、ある共通な原理が働いていると述べている。本研究では、Buchanan の提案を参考に、この原理を「集中化モデル」と名づけて以下のように定式化した。

いま、 $K$  個の同質の变量体があり、それぞれの値を  $P_1, P_2, \dots, P_K$  とする。 $K$  個の变量体とは、 $K$  個の都市人口でもよいし、 $K$  人の資産としてもよい。变量体の値は時間的に変化すると想定し、用語的には「世代」の進行にともなう変化と表現することにする。すなわち、各变量体の値は、世代  $n$  ( $= 1, 2, 3, \dots$ ) の関数としてつぎのように表すことにする。

$$P_k(n) \quad (k = 0, 1, \dots, K)$$

さて、集中化モデルとは、はじめは「ドングリの背比べ」のように値に関して大きな格差のなかった  $K$  個の变量体の間に、世代の進行にともなって次第に格差が現れ、べき乗則的に集中化が進んでいくシミュレーション用モデルであって、 $n$  世代の变量体の値からつぎの  $n + 1$  世代の値が導かれる漸化式としてつぎのように定義する。

$$P_k(n+1) = P_k(n) + \delta r P_k(n) \\ (k = 1, 2, \dots, K) \quad (b)$$

ただし、 $\delta$  は、確率0.5で正負(つまり +1 か -1 か)が決まる変数、および  $r$  は1世代進むときの变量体の値の変動分を決める変化率( $< 1$ )である。つまり、つぎの世代の値は、いまの世代の値に変動分(正負)を加えたものであり、さらにその変動分の大きさは、いまの値に比例するという形式である。

魏志倭人伝の30ヶ国の戸数を变量体とみたとき、その分布がべき乗則の観点からいかなる状況(適合率の値)に位置づけられるかについて、式(b)にしたがうシミュレーションを実施し考察を行う。

#### 4. 研究成果

(1) 邪馬台国時代に前方後円墳が築かれはじめたとする見解の成否を検証するにあたって、最古級前方後円墳がべき乗則の観点からみていかなる特性を示すかを調べる必要がある。そのための分析では、前述のように、古墳築造に要する労働量が勢力(「国」)の人口(戸数)と比例関係で結ばれるという点を重視しなければならない。すなわち、古墳の墳丘体積の分布についてのべき乗則分析を行う必要がある。

まずは、最古級前方後円墳の選定と、それぞれの墳丘体積の算定が必要になる。本研究

では、「最古級」の前方後円墳としていわゆる前期古墳の中でもっとも古い古墳（「近藤編年」でいう1期）であって、墳丘長50m以上の古墳をとりあげる。この条件をみたく23基を選定した。表1に示す古墳である。

表1 最古級前方後円墳

古墳名	墳丘長	墳丘体積	順位
箸墓	281m	350000 m <sup>3</sup>	1
椿井大塚山	170	79000	2
浦間茶臼山	138	42000	3
中山大塚	132	37000	4
ヒエ塚	125	31000	5
弁天山A1号	120	28000	6
中山茶臼山	119	27000	7
石名塚	111	22000	8
石塚山	110	21000	9
森1号	106	19000	10
丁瓢塚	104	18000	11
元稲荷	94	13000	12
纏向石塚	93	12800	13
網浜茶臼山	92	12600	14
植月寺山	91	12000	15
原口	81	8500	16
美和山1号	80	8200	17
那珂八幡	75	6800	18
操山109号	74	6500	19
聖陵山	70	5500	20
御道具山	65	4400	21
弘法山	63	4000	22
川東車塚	61	3600	23

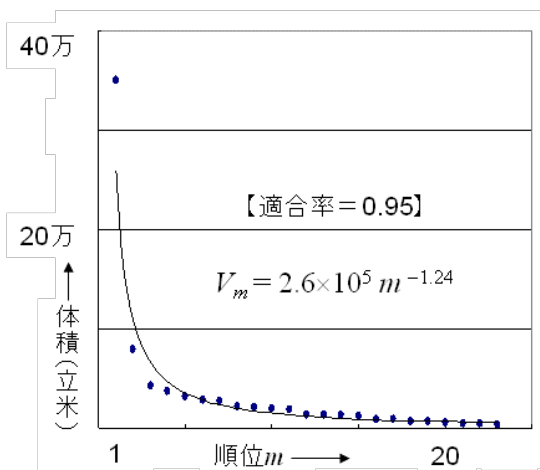


図2 最古級前方後円墳のべき乗則分析

表1にある墳丘体積は、本研究において精

密に計測した箸墓古墳（奈良県）の墳丘体積値（注：学会発表欄参照）を基準にした簡単な算定式によって、墳丘長から導いた概算値である。同表は、墳丘体積の降順に順位がふられている。巨大古墳である箸墓古墳がトップに位置している。

さて、表1に示される墳丘体積の分布は、完全なべき乗則にしたがうことが判明した。すなわち、適合率 = 0.95 および次元 = 1.24 のべき乗関数で高精度に近似できることがわかった（図2参照）。そこで、導出された次元値をめぐる分析と考察の結果を以下に要約する。

そもそも前方後円墳の築造は土木工事であって、たとえば、仁徳天皇陵（堺市）の墳丘築造に要する総費用の試算（大林組）では、計算根拠は墳丘体積におかれている。つまり、掘削や盛土などの作業が中心になる前方後円墳の築造では、費用の大半はこうした土工に必要な労働（労役）に投入されることになり、結果として土量、すなわち墳丘体積を基準としてほぼ比例的に諸費用が計上されていくのである。単純化すれば、前方後円墳の築造に要する総費用は、前述のとおり、墳丘体積に正比例すると考えてよい。

この前提で23基の古墳が体積の降順にならんでいる表1の体積分布を考えてみる。慣習としてよく用いられる上位10%という線引きで上位を抜き出すと、この場合は箸墓古墳と椿井大塚山古墳の2基になる。23基全体の総体積に占める上位10%（2基）の割合はほぼ50%である。この2基の所在地は、奈良県（箸墓）および奈良に近接する京都府（椿井大塚山）であって、ほぼ畿内の中心地区（奈良盆地周辺）に位置するといつてよい。

したがって、最古級前方後円墳を体積で見れば、畿内の中心地区におよそ50%の割合で集中化が進んでいるとみなすことができる。上述の次元値（= 1.23）は、このレベルでの集中化の度合を意味すると考えられる。なお、次元が1前後の値をとるとき、上位10%が全体に占める割合はつねに50%程度であって、前述の日本の都市の人口分布でもほぼ同様の占有率を示す。

さて、畿内中心地区における最古級前方後円墳の体積の占有率が50%に達していることと、前方後円墳築造の費用が墳丘体積に比例するという、2つの知見を総合すれば、最古級前方後円墳の時代の幕を開いた勢力の中心地区は畿内にあること、およびその支配地域全体との対比の中で、人口（「財」をとまう）の中心地区への集中化が極限まで進んでいたと結論づけることができる。

（2）魏志倭人伝の30ヶ国の戸数分布についてべき乗則分析を行って集中化のレベルを調べ、最古級前方後円墳の集中化レベルとの比較論を行う。

魏志倭人伝には、戸数が明記された8つの

主要な国が記載されている。加えて、戸数は不明であるが女王国と敵対する狗奴国がある。表2に、これら9ヶ国の戸（家）数を示している。さらに、戸数や詳細は不明と断っているが、女王国に属する国々として21ヶ国（斯馬国、己百支国、伊邪国、都支国、彌奴国、好古都国、不呼国、姐奴国、對蘇国、蘇奴国、呼邑国、華奴蘇奴国、鬼国、爲吾国、鬼奴国、邪馬国、躬臣国、巴利国、支惟国、烏奴国、奴国）が列記されている。国名が明記されているのは、以上の30ヶ国である。

また、別記として、「女王国の東、海を渡る事千余里、また国あり、皆倭種なり」という記述がある。これらの「倭種」とは、魏との外交関係のない勢力（「国々」とみなされる。本研究では、邪馬台国論争に直接関係する上記30ヶ国に限定して考察する。

表2 魏志倭人伝の9ヶ国と戸数

国名	戸数
対馬国	千余戸
一大国（壹岐国）	三千家
末盧国	四千余戸
伊都国	千余戸
奴国	二万余戸
不弥国	千余家
投馬国	五万余戸
邪馬台国	七万余戸
狗奴国	-

上述の30ヶ国の戸数がべき乗則にしたがうかどうかの検証を行いたい、戸数がわかっているのは表2の中の8ヶ国だけであって、その他22ヶ国の戸数が不明な点が問題である。これらについては代表者が従前の研究で与えた推定値を用いることにする。狗奴国を5万戸、女王国に属する21ヶ国をすべて均等に2千戸とする推定値である。かくして30ヶ国にすべて戸数を付与した（「三千余戸」3000戸のように、戸数データはすべて完数化する）。表3に30ヶ国の戸数を順位づけて降順に示している。戸数の「順位」とは、その戸数以上の戸数をもつ国の数としている。

さて、表3の戸数データにべき乗則分析を行うと、適合率は0.81であって、近似としてみたときの精度は低い（図3参照）。したがって、30ヶ国の戸数の分布は、べき乗則にしたがわないと判定される。

ただし、順位の上位10%に含まれる国々（3位以上として3ヶ国）の戸数が全体に占める割合は70%に達している。つまり、上位10%による占有率だけは高いが、分布そ

のものはべき乗則ではないということである。これは、べき乗則の意味を考える上できわめて参考になる事例である。（後述の）シミュレーションによってべき乗則のありようを考える場面でも特徴的な傾向を示すことになる。

表3 戸数の順位

順位	戸数
1	70000
3	50000
4	20000
5	4000
6	3000
27	2000
30	1000

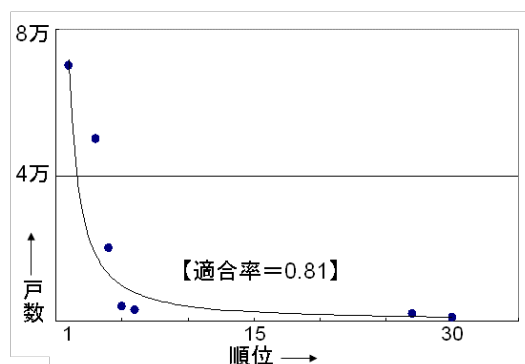


図3 30ヶ国の戸数のべき乗則分析

(3) 前掲の式(b)で与えた集中化モデルによるシミュレーションは、初期値( $n=1$ における $K$ 個の変量体の値)と変化率 $r$ を設定して実行する。図4にシミュレーションの実行例を示している。この例では、前述の魏志倭人伝の国々の戸数をイメージして変量体を30個設定し、初期値をすべて均等に3000とした。すなわち、

$$P_k(1) = 3000 \quad (k = 0, 1, \dots, 30)$$

と設定し、変化率については $r = 0.1$ とした。世代の進行にともなって各変量体の値が増減していくわけであるが、式(b)は、ある変量体の値がいったん0(ゼロ)に落ち込めば、それ以降は永久にその状態から脱出できない形になっている。図4のシミュレーションでは、こうした消散現象を止める目的で下限(=1000)を設定している。すなわち、ある変量体の値が1000以下になると、強制的に1000にもどすという例外処理である。

さて、このシミュレーションでは、最初す

べておなじ初期値 ( $n = 1$  において 3000) から出発した 30 個の変量体の値の分布状態は, 100 世代 ( $n = 100$ ) ぐらいに達すると適合率 0.95 で完全なべき乗則にしたがう集中化状態に到達する。

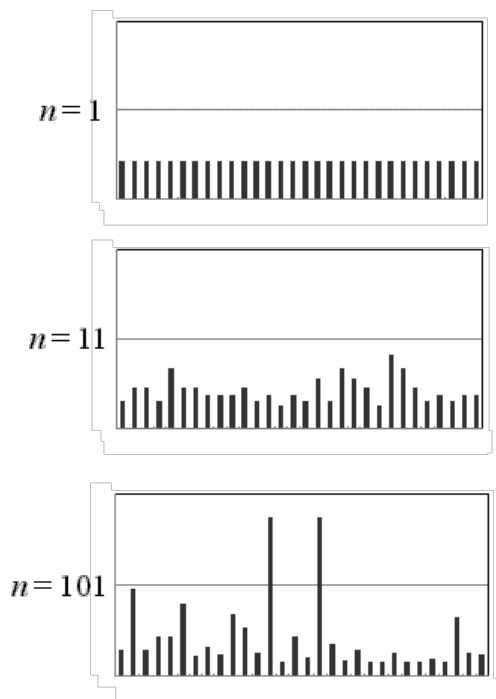


図4 シミュレーション実行例 (サンプル系列)

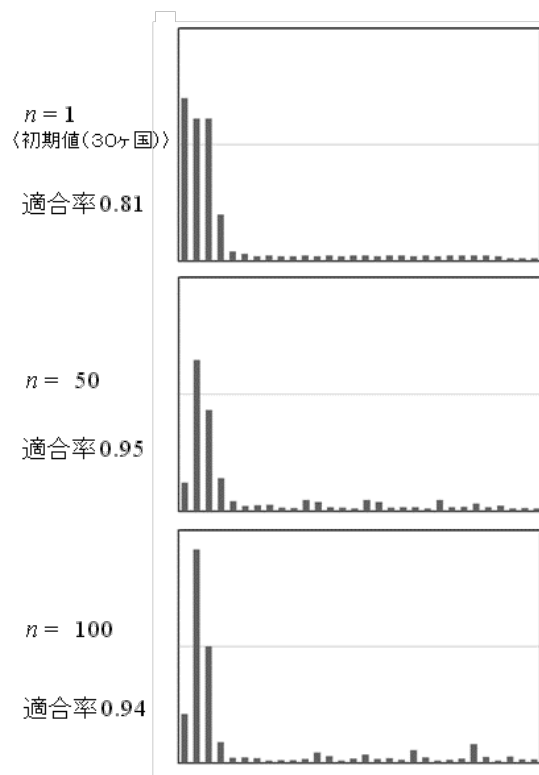


図5 30ヶ国の戸数を初期値とする 仮想シミュレーション

本シミュレーションでは, 適合率が 0.90 未

満となるのは, 50 世代までのごく初期の区間である。適合率が 0.81 であった古代 30 ヶ国の戸数分布は, 世代の進行とともにべき乗則的な集中化に向かっていく過渡的な段階に位置づけられると考えたい。図 5 は, 古代 30 ヶ国の戸数 (表 3) を初期値として, その後 100 世代に至る戸数分布変遷の仮想シミュレーション (サンプル) である。最初は適合率が 0.81 でべき乗則にしたがわない 30 ヶ国の戸数分布が, 50 世代ほど進行すると適合率が 0.95 に達し, べき乗則成立の意味で集中化状態に到達する。

(4) 研究成果を総括する。図 3 に示す古代 30 ヶ国の戸数分布のべき乗則分析によって, 邪馬台国時代は支配人口の集中化が未成熟なレベルにあったと判定される。この推論は, 上述のシミュレーション研究によっても支えられるものとする。一方, 図 2 に示す最古級前方後円墳の墳丘体積に関するべき乗則分析からは, 古代 30 ヶ国の戸数分布とは対照的に, 箸墓古墳をトップとする完璧なべき乗則が成立し, 高いレベルで畿内地区を中心とした集中化が成立している社会状況が暗示される。こうした結果を総合すれば, 邪馬台国時代に前方後円墳が築かれはじめたとする, 昨今喧伝されている見解は, かなりの確度で成立しえないものと結論づけられる。

#### 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)

[学会発表] (計 2 件)

小沢一雅, 歴史と数理, 第 18 回公開シンポジウム「人文科学とデータベース」, 2012 年 12 月 22 日, 寝屋川市.

小沢一雅, 箸墓古墳実測図に関する一考察, 第 17 回公開シンポジウム「人文科学とデータベース」, 2012 年 1 月 7 日, 京都市.

[その他]

ホームページ等

「前方後円墳」(データベースを含む)

<http://www3.kcn.ne.jp/~yuka-o/kofun/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

小沢 一雅 (OZAWA KAZUMASA)

大阪電気通信大学・情報通信工学部・客員研究員

研究者番号: 40076823