

ナスカ台地におけるラインセンターの配置 ーモンテカルロ・シミュレーションによる検討ー

本 多 薫*
門 間 政 亮**

1. はじめに

南米のペルー共和国の南海岸から、約50km内陸にあるナスカ台地には、動物、植物や幾何学図形などで有名なナスカの地上絵がある。ナスカ台地には、1000個以上の地上絵があるが、動物、植物の地上絵は少数で、750個以上は直線（ライン）である。また、複数の直線が集まる（又はラインが放射される）“ラインセンター”と呼ばれているものがある（図1）。Aveni¹⁾は、ナスカ台地における62箇所のラインセンターを取り上げ、ラインセンターの配置、直線の伸びる方角、ラインセンターとラインセンターのコネクト関係を調査している。しかし、ナスカ台地全体を調査しておらず、不明な部分が多い。実際に高分解能人工衛星画像を分析すると、Aveniが取り上げたラインセンター以外にも、複数のラインセンターを見つけることができる。これまでにナスカ台地のラインセンターの制作目的や配置の規則性について十分なデータにもとづいた説得力のある議論は存在しない。限られたデータにもとづく仮説として、ラインセンターは、儀式のために配置された²⁾、水が出現する地点と水の流れる方向を示す³⁾などの説がある。また、ラインセンターには、山、丘、マウンド、石積みなどの種類がある（図2）。自然の山や丘を利用したものがあるが、人工的に制作されたと思われるマウンドや石積みもある。特に人工的に制作されたものは、何らかの理由で、その場所に置かれたのではないのか。すなわち、ラインセンターは無秩序（ランダム）に配置されたのではなく、何らかの意図でナスカ台地上に配置されたと思われる。

粒子の性質と配置⁴⁾や工場の最適配置⁵⁾などの問題に関してコンピュータを用いてシミュレーションすることがあるが、その代表的な手法に、モンテカルロ法によるコンピュータ・シミュレーションがある。このモンテカルロ法は、乱数を取り扱う技法の総称であり⁶⁾、決定論的および確率論的問題の処理に、無作為抽出を利用することを意味している⁷⁾。すなわち、乱数を用いて、無作為的に実験を繰り返し行い、近似的に解や法則などを求めることのできる技

* 人文学部人間文化学科

** 山形厚生看護学校非常勤講師



図1 ラインセンター（マウンド）と放射されるライン（直線）



(1) 山



(2) 丘



(3) マウンド



(4) 石積み

図2 ラインセンターの種類

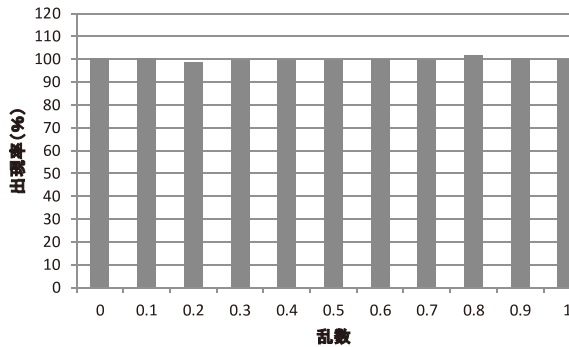


図3 疑似乱数の出現率 (393000回)

法である。

本稿では、ナスカ台地のラインセンターの位置情報（緯度・経度）を用いて、モンテカルロ法によるコンピュータ・シミュレーションを実施し、ナスカ台地のラインセンターが無秩序（ランダム）に配置されているのかを検討する。

2. モンテカルロ法と疑似乱数

モンテカルロ法によるコンピュータ・シミュレーションでは、一様乱数を用いる。一様乱数とは、ある区間内において数値が同じ確率で現れるような乱数のことである。しかし、コンピュータでは、“一様性”が満たされている完全な乱数を生成することができないため、コンピュータで生成した乱数を“疑似乱数”という。この疑似乱数の質が良くないと信頼できる解、または法則を求めることができない。質の良い疑似乱数の条件は、乱数列の発生する周期が十分に長いものであり、統計的性質を持たなければならない⁶⁾。もしも乱数列の発生する周期が短いと統計的に偏った一様分布になり、コンピュータ・シミュレーションには使用できない。

本稿のモンテカルロ法によるシミュレーション・システムは、プログラミング言語Java (JDK) で開発した。このJava言語には、乱数を発生させる関数が準備されており、容易に乱数列を生成することができる。本稿のシミュレーションで使用した疑似乱数の質を確認するために、0から1の区間において393000個の疑似乱数を発生させ^{注1)}、その出現率を算出した。その結果を図3に示す。区間内では、ほぼ100%で乱数が生成していることが確認できる。なお、区間内での出現の誤差を算出したところ、0.0173以下であった。

3. ナスカ台地のラインセンターの抽出と位置情報の計測

Aveni (1990) の調査¹⁾により、ナスカ台地には62箇所のラインセンターがあることがわかってきた。しかし、アメリカの商用衛星QuickBird (2001年打ち上げ) で撮影された高分解能人

工衛星が撮影した画像を分析すると、62箇所以外にもラインセンターらしきものが確認できる。ラインセンターの配置などの規則性を分析するためには、まだ発見されていないラインセンターを含めて、ナスカ台地の全域のラインセンターを抽出する必要がある。そのために、①衛星画像を詳細に分析し、ラインセンターを抽出する分析調査、②Aveniの著書¹⁾による資料調査、③共同研究者^{注2)}である坂井正人氏（人文学部教授）らによる現地調査^{注3)}、の3通りの調査を行った。①の分析調査で用いた人工衛星画像^{注4)}は、軌道高度450kmで地球を周回している衛星より撮影されたものであり、地上分解能は最大で0.61mである。しかし、地上分解能の高い人工衛星画像であっても不鮮明な部分や構造物が確認できないものがあり、人工衛星画像のみの分析では、本当にラインセンターであるのかを判断することには限界がある。そのため、現地調査による構造物等を確認する作業が必要となる。

上記の3通りの調査から抽出したラインセンターについて、坂井氏らによる現地調査（ナスカ台地）において、GPS（Global Positioning System）受信機による位置情報（緯度・経度）の計測、どのような構造物（マウンド、石積みなど）がラインセンターとして置かれているのかなどの確認作業を行った。その結果、138箇所^{8)注5)}のラインセンターの位置が明らかとなった。なお、今回のコンピュータ・シミュレーションでは、分析時点で位置が確定していた131箇所を計算の対象とした。

4. ラインセンターの配置におけるシミュレーション

4.1 シミュレーションの計算条件

ラインセンターがナスカ台地に無秩序(ランダム)に配置されているのかを検討するために、モンテカルロ法によるコンピュータ・シミュレーションを実施するものである。すなわち、ラインセンター131箇所に対して、コンピュータが打点した（ラインセンターをランダムに配置した）ものとの一致率を計算する。しかし、ナスカ台地は、南北15km、東西20kmほどの面積があり、ラインセンターの位置とコンピュータの打点が完全に一致することは確率的に低い。そのため、以下の計算条件でシミュレーションを行うことにした。

- 1) ナスカ台地に500m×500mもしくは、1000m×1000mの枠（メッシュ）を作り、枠内にラインセンターとコンピュータの打点が入った場合に、一致したと判定する。
- 2) 縦と横の枠（メッシュ）数を同じとした正方形として計算し、ナスカ台地の外に打点された場合には、打点を無効として再び打点して、ナスカ台地内に131打点した時点で、1回の計算を終了する。これを3000回繰り返して計算し、一致率を算出する。
- 3) 仮に同じ枠（メッシュ）内にラインセンターが複数ある場合には、1打点で1ラインセンターについて、一致したと判定する。

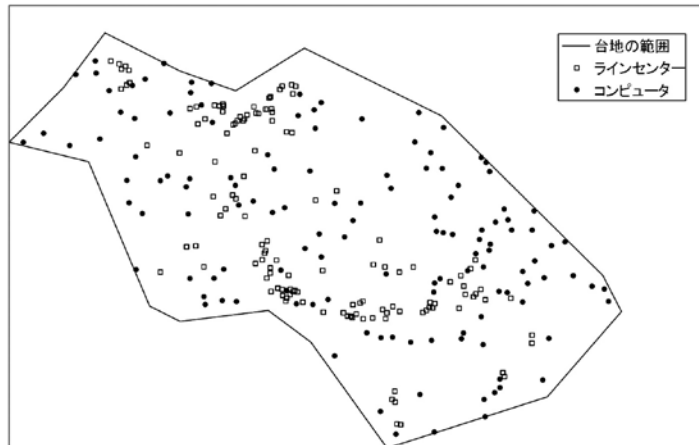


図4 ラインセンターとランダム打点の一例 (1 試行の結果)

4.2 シミュレーションの結果および考察

実際のラインセンター 131箇所の配置に対して、コンピュータが打点した（ラインセンターをランダムに配置した）結果の一例を図4に示す。このように、コンピュータがナスカ台地上にラインセンターをランダムに配置する試行実験を3000回繰り返して実施した。

ナスカ台地のラインセンターの配置におけるモンテカルロ法によるコンピュータ・シミュレーションの結果を図5, 図6に示す。図5は、500m×500mの枠（メッシュ）のシミュレーションの結果である。計算を繰り返してゆくと、100回程度計算したところで、一致率が3.5%を超え、上下しながら1500回程度で一致率が3.6%前後に収束している。なお、3000回計算した時点の一致率は、3.6112%であった。次に図6は、1000m×1000mの枠（メッシュ）のシミュレーションの結果である。計算を繰り返してゆくと一致率が低下するが、100回程度計算したところで、一致率が増加し、1000回程度で一致率が10%未満に収束している。なお、3000回計算した時点の一致率は、9.9746%であった。

500m×500mの枠よりも1000m×1000mの枠の方が、一致率が高くなるのは当然の結果である。今回のシミュレーションの計算条件では、500m×500mの枠の場合には、ラインセンターの位置とコンピュータの打点との距離が707m離れている場合でも、一致したと判定している。また、1000m×1000mの枠の場合には、ラインセンターの位置とコンピュータの打点との距離が1414m離れている場合でも、一致したと判定している。それでありながら、一致率は9.98%以下との結果であった。この数値から判断しても、ラインセンターの配置は、無秩序（ランダム）である可能性は低いと思われる。

先に述べたが、これまでに、ナスカ台地には62箇所のラインセンターがあることが報告されていたが、資料¹⁾には地図で大まかな場所は示されているが、正確な位置情報（緯度・経度）

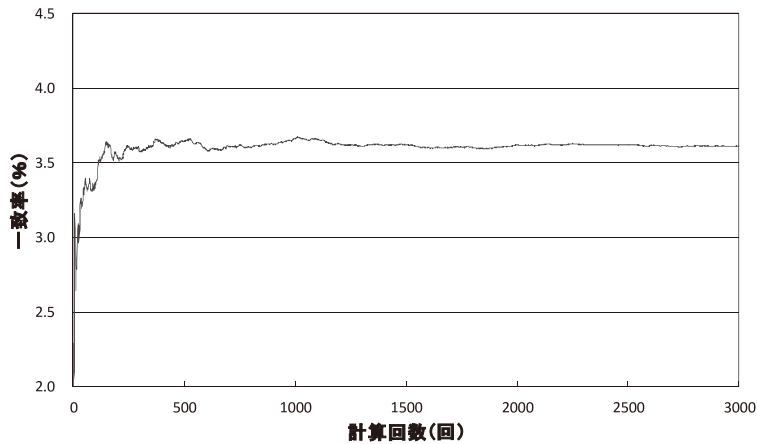


図5 モンテカルロ法によるシミュレーションの結果 (500 m × 500 m)

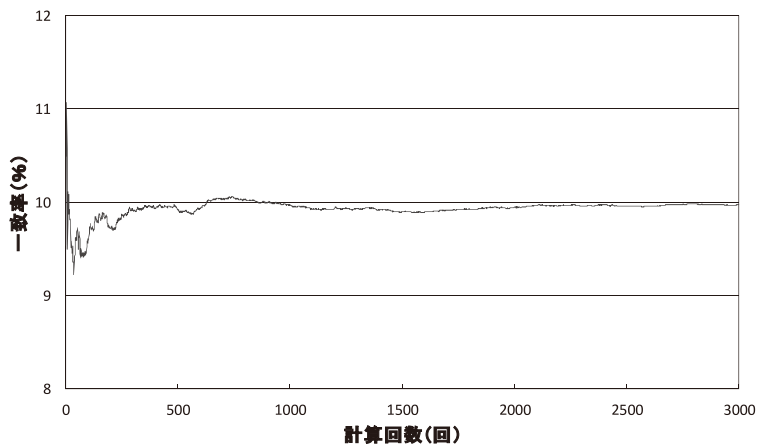


図6 モンテカルロ法によるシミュレーションの結果 (1000 m × 1000 m)

は記載されていない。そのため、調査から抽出した全ラインセンターの位置情報（緯度・経度）をGPS受信機で計測した。その結果、ナスカ台地のラインセンターの分布が明らかになり、コンピュータ・シミュレーションを実施することができた。今回のシミュレーションの結果より、「ラインセンターの配置は、無秩序（ランダム）ではない」とした場合、その配置には何らかの規則性があることになる。渡邊⁹⁾は、ラインセンターは、広大な大地を移動または把握する上の参照点（ランドマーク）として機能したと述べており、遠方からの視認性が高いものをラインセンターとして置いたと考えれば、まったくの無秩序な配置ではないと思われる。視認性が高い場所には石積み（図2-(4)）、低い場所には大きなマウンド（図2-(3)）というように

ラインセンターを置いた可能性もある。このことから、ラインセンターの種類別や地形を分類して、コンピュータ・シミュレーションを実施することなども考えられるが、今後の課題としたい。

5. む す び

本稿では、ナスカ台地のラインセンターの位置に関して、モンテカルロ法によるコンピュータ・シミュレーションを実施した。その結果、ナスカ台地のラインセンターが無秩序(ランダム)に配置されたのではない可能性を明らかにした。しかし、コンピュータ・シミュレーションは、確率論的(統計学的)に数値計算したにすぎない。ラインセンターの配置の規則性を明らかにするためには、ラインセンターの種類、地形との関係、人間の行動(移動や把握)、遺跡との関係、制作時期などを調査検討する必要があると考えている。

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「環太平洋の環境文明史」研究項目A03「アンデス文明の盛衰と環境に関する学際的研究」(課題番号21101004)の助成を受けて行われた。

注

- 1) 本稿のモンテカルロ法によるコンピュータ・シミュレーションでは、393000個(131打点×3000回)の乱数を使用している。
- 2) 平成16年10月より、山形大学人文学部では「ナスカの地上絵プロジェクト」を開始しており、文化人類学、地理学、心理学、情報科学の研究者による学際的研究を行っている。
- 3) 現地調査は、ペルー文化庁の調査許可を得て実施している。
- 4) 分析に使用した人工衛星QuickBird画像は、DigitalGlobe社ならびに日立ソフト社との使用契約により、本稿には掲載できない。
- 5) ラインセンターの数は、2011年度の調査結果にもとづくもので、今後の分析や現地調査等の結果で修正されるため、確定数ではない。

文 献

- 1) Aveni, F. Anthony, (ed.): The Lines of Nazca, The American Philosophical Society, Philadelphia, 1990.
- 2) Reinhard, Johan: The Nazca Line, A new Perspective on their Origin and Meaning, Editorial Los Pinos E.I.R.L., Lima, 1986.
- 3) Aveni, F. Anthony: Nasca, Eighth Wonder of The World?, British Museum Press, London,

1988.

- 4) 岡田勲, 大澤映二: 分子シミュレーション入門, 海文堂, 東京, 1989.
- 5) 宮武修, 脇本和昌: 乱数とモンテカルロ法 (数学ライブラリー 47), 森北出版, 東京, 1978.
- 6) 津田孝夫: モンテカルロ法とシミュレーション (改訂版), 培風館, 東京, 1977.
- 7) 宮武修, 中山隆: モンテカルロ法 (増訂版), 日刊工業新聞社, 東京, 1960.
- 8) Sakai, Masato y Jorge Olano: Informe Final del Proyecto de Investigación Arqueológica de las Líneas y Geoglifos de la Pampa de Nasca (Segunda Temporada), Ministerio de Cultura del Perú, 55-59, 2011.
- 9) 渡邊洋一: ナスカ台地の空間認知, 山形大学大学院社会文化システム研究科紀要, 第4号, 151-163, 2007.

**Position of the line centers in the Nasca upland:
A study by Monte Carlo simulation**

HONDA Kaoru, MONMA Tadasuke

There are geoglyphs of animals, plants, straight lines and other geometric graphics in the Nasca upland of Peru, South America. There are also many so called "line centers" that consist of straight lines (or radial lines). In this paper, we have conducted computer simulations by Monte Carlo method to examine whether the line centers in Nasca upland are positioned chaotically (randomly) using the line location information (latitude and longitude). The simulation result suggests that the line centers located in the Nasca upland are not positioned chaotically.