

距離に注目した文化伝播モデル

加藤 常員
岡山理科大学大学院

考古学へのコンピュータ・サイエンスの応用、とくに文化とその伝播に関するモデル化および計算機シミュレーションについて述べる。本稿では、ある文化に帰属する遺跡相互の係わりを示すネットワークを提示するモデルを提案する。このネットワークを伝播路網と名付ける。伝播路網決定には、大きな要因と考えられる空間的距離に着目した、伝播負担関数および伝播係数を導入する。具体例として、後期旧石器時代・国府型ナイフ型石器文化を対象にシミュレーションを行った結果を示す。また、弥生時代中期・畿内の社会構成について、考古学的手法による結果と比較・検討を行う。

Modelling of Culture Propagation based on Geographical Distance

Tunekazu KATO
Graduate School of Science, Okayama University of Science
Ridai-cho 1-1, Okayama, 700, Japan

This paper presents a model to define the network that indicates relation between sites with the same culture. By using computer simulation techniques we construct a model of propagation of cultural effects. A culture and its propagation include many factors. We introduce the cost function and the propagative coefficient with respect to the direct distance between two sites, which are considered as fundamental factors. The network is determined by the coefficient. In our experimental computer simulations, we sampled the sites in Paleolithic and in Yayoi Period in ancient Japan. The results of our simulations are also presented and discussed.

1. はじめに

過去を扱う学問分野では、今まで何らかの“かたち”で残されて来た「資料」を収集・蓄積・処理し、必要な情報を抽出する。また、コンピュータ技術の発達、情報社会の進展は、個々の学問に領域を超えた学際的な情報の交流が不可欠なものとし、情報量を激増させている。とくに、考古学は、発掘調査により得られる物質的遺存・痕跡からの情報に基づく科学であり、情報量の多大な学問と言える。近年の発掘調査では、放射性元素による年代測定や花粉分析など自然科学を応用した、より広範囲の観点からの情報も取込まれる。また、その規模、件数ともに宅地開発、道路建設などに関連し飛躍的に増加している。こうした状況は、膨張し続ける考古学情報に拍車をかけ、コンピュータによる処理が急務とみられている。一方、すでに統計的分析、データベースをはじめとするコンピュータ・サイエンスの応用による研究成果の報告(1,2)もなされている。

筆者は、考古学へのコンピュータ・サイエンスの応用の一つの試みとして、文化とその伝播を捕らえ、モデル化し、計算機シミュレーションを行う研究を進めている(3,4)。一般にシミュレーションとは、現実に確かめることが容易でない、または不可能な事象に対しモデルを構成し、計算機により検証、あるいは予測する技法と言える。本研究で対象とするシミュレーションは、過去のある事象を現在まで得られている考古学的知見をもとに(過去を)再現しようとする思考実験である(図1参照)(3)。

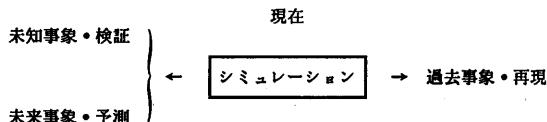


図1 シミュレーション

コンピュータ・サイエンスの応用的研究では、本来の分野で確立された成果との比較・検討が重要である。比較・検討の結果は、本来の分野に対する成果に留まらず、コンピュータ・サイエンスの分野へも多くの示唆を与える。

本稿では、本研究の第一段階としての遺跡間の交流を示す“伝播路網”を決定するモデルについて報告を行う。

文化とその伝播のモデル化について概要をまず述べる。次に、文化伝播の基本は遺跡間の係わり合いに

あると考え、その空間的距離に着目した伝播負担関数および伝播係数を導入する。対象遺跡の分布図の作成、伝播路を決定手順に就いて述べる具体例として、後期旧石器時代・国府型ナイフ型石器文化の56ヶ所の遺跡を対象としたシミュレーションを行った結果を示す。また、考古学的手法を紹介し、弥生時代中期・畿内の社会構成に対しての適用された結果との比較・検討を行う。

2. 文化とその伝播のモデル化

人間の歴史や文化とその伝播は、往時の様々な日常的な道具や器具、それを用いた生産・生業、自然環境、集団や社会の組織形態、政治的・経済的な規制、さらには、人々の思想とそれを制御する信仰や祭祀といった有形・無形の多様な要素が有機的に結合した集合体を背景として人々の諸活動の総体として捕らえなければならない。すなわち、特定の文化は、特徴的な文化要素の組合せによって規定される。また、その伝播は、特徴的な要素を育んだより一般的な要素によって総合的に捕らえなければならない。考古学では、考古資料(遺跡・遺物)を機能的基準、編年基準、分布的基準等を座標として分類、分析を行い、文化の要素および文化(圈)を設定される(4)。

文化とその伝播のモデルを構成するには、まず、多くの文化要素を把握し、それもとづく文化の多彩なデータベース、知識ベースの構築とそれらの活用手法の確立が必要と考えられる。しかしながら、そのもととなる歴史学および周辺科学の知見は、専門家(歴史学者)のもつ漠然とした知識や経験と言った定式化が、容易でないものが多い。また、その活用方法についても同様である。こうした実情を踏まえ、モデルの構成には、歴史科学分野に応用されていないより広範囲な分野の技術の積極的導入を熟慮する必要があると思われる。

上で述べたように、考古学では、文化(圈)を考古資料によって認識される文化要素の一定の組合せ、複合体として扱う。そこで、本研究を進めるに当たり、文化要素の決定、文化の設定については既存の考古学のものをそのまま採用し、文化の“伝播”に焦点を当てる。文化の伝播を考える際、遺跡相互間つまり遺跡を造った往時の人々の交流を把握することが、課題の中心と言える。交流のネットワークを交流に要する負担と言う観点から空間的な直線距離に注目し、モデル化する。

3. 伝播負担関数および伝播係数

3. 1 伝播負担関数

ある文化の伝播（波及）を規程するには、前章でも述べたように多くの要因を考慮する必要がある。文化の伝播の本質が、人ととの係わりの上に成立している以上、その空間的距離は大きな伝播の要因と考えられる。また、それは人の移動を始めとする多くの負担を伴う。そこで、文化が伝わるの度合い、あるいは、文化を伝える度合いを示すものとして空間的な直接距離に注目し、伝播に対する負担と言う観点から、以下の条件のもとに距離についての伝播負担関数を導入する。

- ① 直接距離についてに関数で表す。
- ② 相対的な漠然とした負担を表す。
- ③ 伝播の負担は、その点までの負担に比例する。
- ④ 近距離に対する伝播の負担は、遠距離に対するそれよりもより軽い。

以上の条件をもとに伝播負担関数を定式化する。伝播負担関数を p 、直接距離を x とすると条件①および③より、

$$\frac{dp}{dx} = kp \quad (1)$$

ここで、 k は（比例）定数で、微分方程式（1）を解いた一般解は、

$$p = C e^{kx} \quad (2)$$

となり、 C は定数、 e^{kx} は自然対数の底 e を底とする指数関数である。（2）式の定義域は常に正 ($x > 0$) である。条件③および④を吟味すると、図2に示すような距離 x についての下に凸な増加関数である必要がある。したがって、定数 k および C はともに正の値として定める必要がある。さらに、条件②を検討すると、定数 C は（2）式の関数の値、全体を C 倍するものであり値の相対的な関係（全順序や比例関係）にはなんら影響を与えない。以上より、伝播負担関数は式（2）において $C = 1$ とし、 k を正の値を探るパラメータとする、次のような関数と定義する。

$$p = e^{kx}$$

伝播負担関数 p の値は、小さいほど伝播しやすいことを示すが、本章の始めで述べたように人ととの係わり（交流）に対する負担を漠然と表す量として導入した相対的な値と言える。ここではこの係数が、時間的、空間的、影響的、心理的などいずれか特定の尺度を規定するものではない。“文化の伝播”にとって、なにを意味を持つのかを十分に吟味検討する必要があり、今後の大きな課題である。

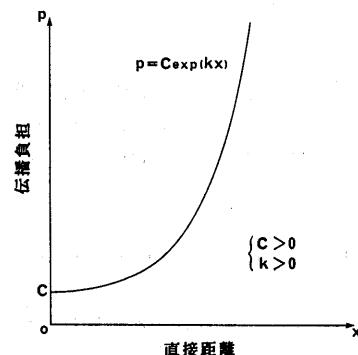


図2 伝播負担関数

3. 2 伝播係数

遺跡間にある文化が伝播（波及）する度合いを示す係数として、伝播係数を導入する。先に定義した伝播負担関数の直接距離に遺跡間の大圓距離を採用し、その関数値として伝播係数を定義する。この係数は伝播負担関数を定義した際と同様、対象の各遺跡相互間、関係を示す漠然とした相対的基準と考える。2つの遺跡間の文化の伝播には、2つ遺跡間の直接交流によるものと、他の幾つかの遺跡間の交流を介して間接的に伝播する二つの形態があると考えられる（図3参照）。この二つの形態について以下のように伝播係数を定める。

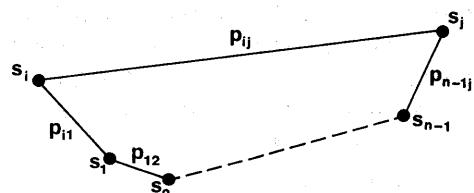


図3 伝播形態

遺跡 s_i と遺跡 s_j の直接交流による伝播の伝播係数 p_{ij} は、 s_i と s_j の間の大圓距離を d_{ij} とすると式(3)より、

$$p_{ij} = \exp(-k d_{ij}) \quad (4)$$

と表される。遺跡と遺跡の係わりと言う観点から

$$p_{ij} = p_{ji} \quad (5)$$

と規定する。

図3に示すような遺跡 s_i と遺跡 s_j の間に他の遺跡の系列 $l : s_1, s_2, \dots, s_{n-1}$ を介して伝播する場合の伝播係数 p_{ij}^l は、直接交流の場合の伝播係数を用いて、

$$p_{ij}^l = p_{i1} + p_{12} + \dots + p_{n-1j} \quad (6)$$

p_{i1} を p_{01} 、 p_{n-1j} を p_{n-1n} と記号を付替えると、(6)式は、

$$p_{ij}^l = \sum_{k=0}^{n-1} p_{k-1k} \quad (7)$$

と表現できる。系列 l の逆系列 $l' : s_{n-1}, \dots, s_2, s_1$ を考慮して直接交流の場合と同様、

$$p_{ij}^l = p_{ji}^{l'} \quad (8)$$

と規定する。

以下、直接交流の場合の伝播係数 p_{ij} を直接伝播係数と呼び、系列を介した場合の伝播係数 p_{ij}^l を單に伝播係数と呼ぶことにする。直接伝播係数は伝播係数の特別な場合と考える。

4. 直線距離による伝播路網

前章で定義した伝播負担関数および伝播係数のもとづき、対象文化の遺跡分布図の作成、伝播路および伝播路網の決定について述べ、具体例として、後期旧石器時代・国府型ナイフ型石器文化の西日本地域について適用した例を示す。

(a) 遺跡分布図の作成

遺跡位置を入力とし、白地図にその位置をプロットするシステムを作成した。将来、地理情報としてのデータベース化を考慮し、緯度・経度によりすべての処理を行うことを原則とした。白地図は緯度・

位、地方単位、その他)などの地域指定による形式で作成可能なものとした。遺跡位置のプロットは、その緯度・経度を入力データし、数種にマークにより示せる。また、2点の緯度・経度を与えることで、その間の大圓距離を計算する機能も付加した。

遺跡位置の緯度、経度は、教育委員会等が発行した遺跡調査報告書などより建設省国土地理院発行の1/20万の地勢図をもとに計測したもの用いた。白地図のデータは、REDATOシステム(4)のものを一部改変して使用した。

(b) 伝播路および伝播路網

ある遺跡からある遺跡への伝播(到達)の可能性のある系列は、直接交流を含め無数に存在する。それらの系列の内、伝播係数が最小であるものを遺跡間の伝播路と定める。すべての遺跡相互間の伝播路よりなるネットワークを伝播路網と定義する。

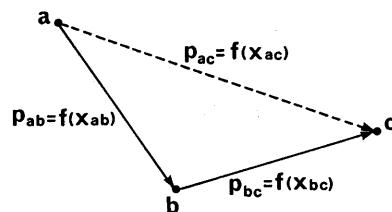


図4 中継効果

伝播路の決定の基本的な考え方は、図4に示すような3つの遺跡 a 、 b 、 c について遺跡 a から遺跡 c への伝播を考えたとき、遺跡 a から直接遺跡 c へ伝播せず遺跡 b を経由して遺跡 c へ伝播する場合がある。すなわち、遺跡 i から遺跡 j への直接距離を p_{ij} 、伝播係数を p_{ij} とすると、

$$X_{ac} < X_{ab} + X_{bc} \quad (9)$$

は、3つの遺跡 a 、 b 、 c が同一直線上にある場合を除き必ず成立する(三角不等式)。式(4)による各遺跡相互間の直接伝播係数、

$$\left. \begin{aligned} p_{ac} &= \exp(-k X_{ac}) \\ p_{bc} &= \exp(-k X_{bc}) \\ p_{ca} &= \exp(-k X_{ca}) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

において、

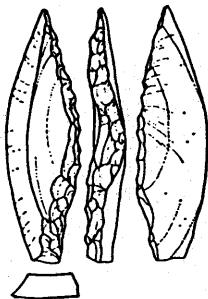


図5 国府型ナイフ型石器(8)
郡家今城B地点出土

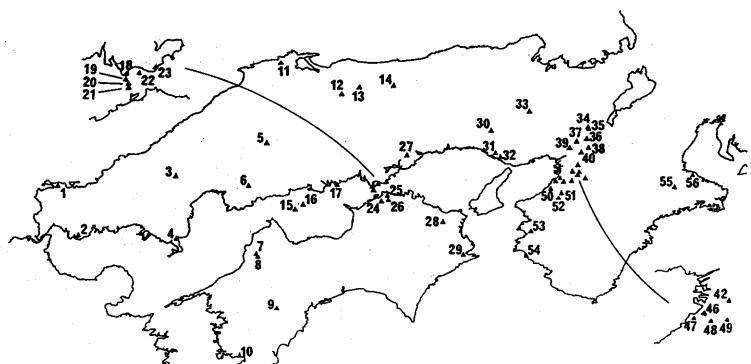


図6 国府型ナイフ型石器出土遺跡分布図

$$P_{ac} > P_{ab} + P_{bc}$$

(11)

と成り得ることがある。これを中継効果と名付ける。伝播路は、2つの遺跡と他の1つの遺跡において中継効果が成立するか、しないかの判定することによって決定できる。この伝播路の探査問題は、ダイナミック・プログラミングなどで利用される「最適性の原理」に帰着でき、最短路問題(6,7)として解くことが出来る。

(c) 具体例

伝播路網を具体的に、後期旧石器時代・国府型ナイフ形石器文化(図)の西日本地域について、以上述べたモデルを適用したシミュレーション結果を示す。国府型ナイフ形石器文化の遺跡は、瀬戸内技法と呼ばれる石器製作法により翼状剝片から作られた図5に示すようなサヌカイト製の国府型ナイフ石器に特徴づけられ、近畿西部(大阪府、兵庫県南部、京都府南部)と瀬戸内中央部(備讃瀬戸、讃岐平野北部)を中心として、その影響は、北は山形県庄内平野、西は筑後平野にまでおよぶ(8)。今回、対象とした遺跡数は、図6に示す56ヶ所である。遺跡の分布にはかなり疎密があり、近畿西部と備讃瀬戸に集中している。図7は、遺跡相互間の系列(路)をすべて

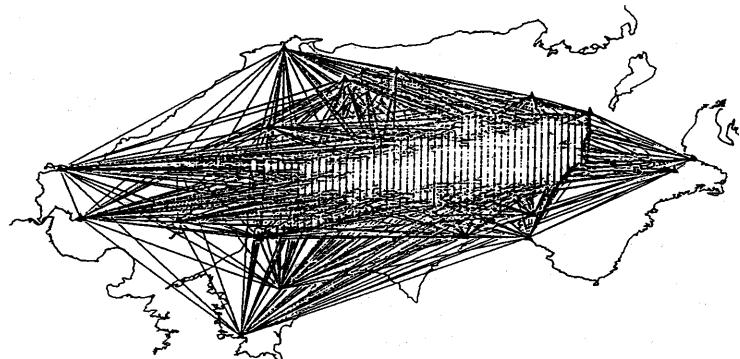


図7 国府型ナイフ型石器出土遺跡全系列路

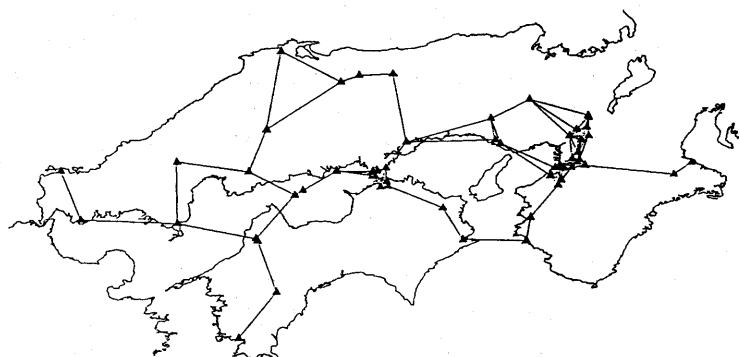


図8 国府型ナイフ型石器出土遺跡伝播路網 ($k=0.065$)

示したものである。描かれた直接交流の路の数は、 $1540 (= (56 \times 55)/2)$ 本である。図8は、式(3)の伝播負担関数のパラメータ k の値を0.065としたときの伝播路網を示す。描かれた直接交流の路の数

は、153本である。伝播負担関数のパラメータ k の値の決定については、現在のところ経験により行っている。 k の値が大きくなるにつれて伝播路の本数が減るが、対象遺跡の分布状況の疎密度などにより k の値が大きく異なる。 k の値の自動決定は、今後の一つの課題と言える。また、遺跡分布の疎密、および疎密の偏りによる k の値の有効範囲など、伝播係数の値の意味とともに興味ある問題である。なお、本シミュレーションは、岡山理科大学・情報処理センター FACOM M380Sコンピュータシステムを用いて行い、PSPによる作図処理時間をふくめ全処理時間は、約3.0秒である。

5. 考古学的手法との比較・検討

前章までに述べた文化の伝播モデル（以下、本モデルと呼ぶ。）は、伝播路網によりある対象の文化を呈する遺跡間の係わりを示そうとする、静的な時間積分系のモデルと言える。次に紹介するセトルメント・アーケオロジー（9.1B）と呼ばれる考古学研究の方法論は、人類学の理論を用いた方法である。この方法を用いた弥生時代中期の近畿地方中央部の社会構造についての研究が、奈良大学・酒井龍一氏によってなされている。その研究成果（11, 12）と本モデルによる結果との比較・検討を行う。

(a) セトルメント・アーケオロジー

アメリカ考古学によって提起された考古学研究の一方法論としてのセトルメント・アーケオロジーは、“セトルメント”と呼ばれる基本的な単位を定義し、その特性や様相を分析、抽象化されたパターンとして捕らえ、さらにそのパターンを統合することで往



図10 弥生時代中期・畿内の社会構成（酒井モデル）
【朝日百科 日本の歴史 39より】

時の社会形態・組織、過去の社会文化の体系を復元・解明しようとする方法である。図9にその概念図を示す。セトルメントとは、種々の定義があるが、単純には「占居形態」や「人間存在の痕跡」と言った意味で、一般的な「遺跡」の概念にほぼ近い。

弥生時代中期の近畿地方中央部の社会構造について酒井氏は、集落遺跡および遺物を分析し拠点集落

の存在とその相互の関係を、①社会の基本構成要素は拠点集落で約50ヶ所程度である。②拠点集落を中心半径5km程度の日常生活活動範囲を示す。③拠点集落は5kmの標準間隔を置き、連続分布して、面的・線的配列を示し、全体として二つの面帯と、それを結ぶ線帯および多くの派生する線帯から構成される。など、その構成について結論づけ、図10のようなネットワークを示している（以下酒井モデルと呼ぶ）。なお、酒井モデルは、あくまでも安定し

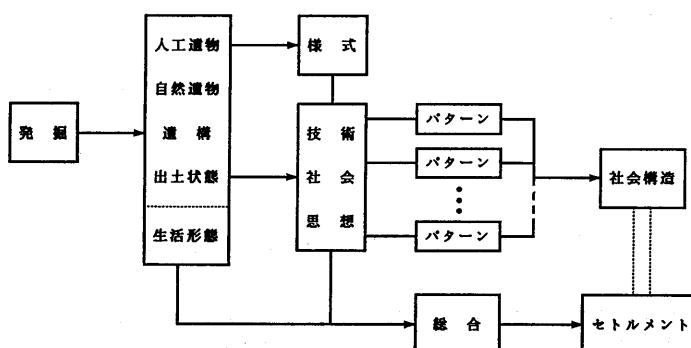


図9 セトルメント・アーケオロジーの概念図(9)

た社会構成を対象としたモデルで、弥生時代中期は二、三百年にわたり安定した時代であったと言われている。

(b) 比較・検討

本モデルと酒井モデルを比較・検討を行うため、酒井モデル（図10）と同じ遺跡の位置データで本モデルに適用した結果を図11に示す。なお、パラメータ k の値は、0.45で拠点集落間を結ぶ路が交わらず、路が最大の本数残る状態で設定した。対象遺跡数は、54ヶ所、遺跡相互の直接交流の路の数は、1531 ($= (54 \times 53)/2$) 本である。図10の拠点集落間を結ぶ接続線は84本、図11の拠点集落間を結ぶ路は85本である。酒井モデルを基準として、その差異は、図12に示すように、付加されている路が7本、欠落している路が6本である。この差異を詳細に吟味する。付加された7本の内、宮の前-東奈良と森ノ宮-瓜生堂を除く5本は、比較的密な面的配列の箇所に生じている。欠落した6本の内、耳原-目垣を除く5本は、面的配列間を結ぶ長い間隔の箇所を路である。この結果の差異は、酒井モデルが遺跡そのものを分析した結果として拠点集落および接続線を示し、この両者は、互に不可分な存在にある。接続線の決定には、拠点章落決定に用いられた多くの事実と考古学的な知見が元になっている。例外的に示した付加2本と欠落1本の路は、明らか

にこうした知見によるものであり、図11の古地形を参考にすると妥当な接続線選択と考えられる。その他の付加5本と欠落5本については面的構成内の差異であり、面的構成内の接続線そのものの有無について、酒井モデルはあまり問題にしていない。これらの事柄の示唆すところは、本モデルでトレース出来る全体的な部分と全く考古学者のエキスパートな知見による局所的部分がある。知見による部分は、個々の場合として処理がなされているが何等かの基準（エキスパートな基準）が存在していると考察できる。

国府型ナイフ形石器文化の遺跡の分布と弥生時代中期の拠点集落の遺跡の分布を比較すると、前者は、分布に明らかな偏りがあり、後者は均一な分布を示している。伝播路の疎密も当然、同様の構造を呈している。パラメータ k の値については、1桁のオーダーの違い(0.065と0.45)があり、採択された伝播路の本数比率(153/1540と85/1531)も1桁のオーダーの違いを示す。このことは、本モデルが分布の疎密の偏り度合いに応じた、伝播路の採択を行うものと考えられる。不均一な分布と均一な分布では、その伝播路（伝播係数）の差異の判定精度が異なり、均一であればあるほど詳細な判定を行う。パラメータ k の値と伝播路の採択比は表裏一体のものであり、どちらか一方を固定したとき他方の示す数値は、分布の疎密の偏りを示す値と考察できる。

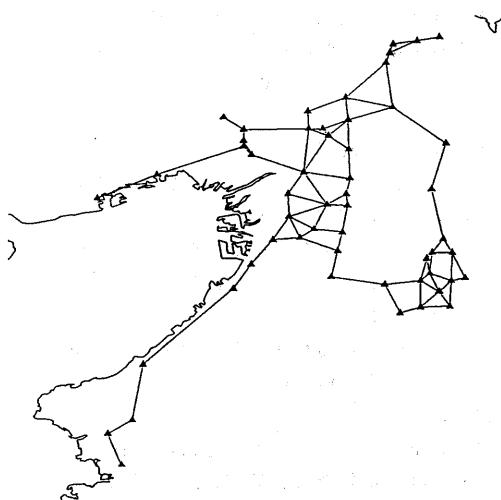


図11 弥生時代中期・畿内伝播路網
(本モデル： $k=0.45$)

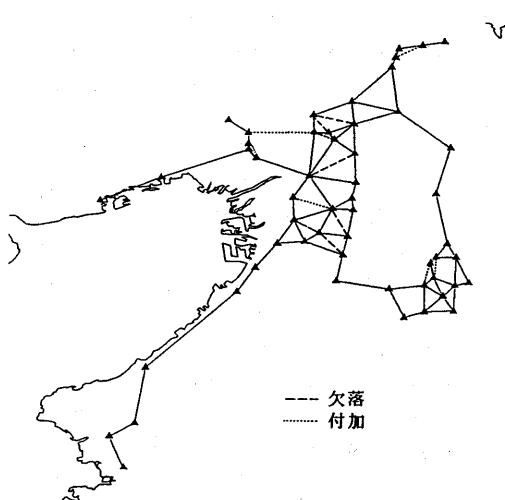


図12 酒井モデルと本モデルの差異

6. おわりに

本稿では、歴史科学、とくに考古学へのコンピュータ・サイエンスの応用とコンピュータ・シミュレーションの意義について述べ、文化とその伝播のモデル化の背景、目的、方針を概観した。次に、ある特定の文化を呈する遺跡（群）を想定し、伝播の本質と考えられる遺跡間の係わりの度合いを示す漠然とした相対尺度として、遺跡間の直線距離に注目した伝播負担関数とその関数値としての伝播係数を定義した。その係数にもとづき伝播路および伝播路網を呈示するモデルを提案した。さらに、提案したモデルにしたがって、国府型ナイフ形石器出土遺跡間の伝播路網を求めた。また、考古学的方法論であるセトルメント・アーケオロジーを紹介し、弥生時代中期の畿内について適用された酒井モデルでの結果を示し、本モデルの結果との比較・検討を行った。

以上述べた成果は、歴史科学全体を通じての大きなテーマである“文化”へのコンピュータ・サイエンスの応用の可能性と重要性、発展性を提起するものと著者は考えている。ここに示したモデルは、考古学の分野とは全く別の見地から構成した単純なものである。しかしながら、考古学的手法による結果との比較を行うことにより、専門家（考古学者）のエキスパートな知見やヒューリスティックな処理が、論理的な決定論的（数理的）な部分とそうでないまさに経験や直感に委ねられる部分の融合であることを示唆された。また、こうした結果の比較・検討は、直接比較対象のないものへの応用を可能とする。一方、適用分野の枠を越えた曖昧模糊とした表面の表れない事柄や本質的事項を浮び上がらせる事が期待出来ると考えられる。

今後の課題としては、時間的な概念を導入した伝播の動きを示せるモデルへの展開、考古学的手法との比較による、種々のパラメータの導入とその決定方の研究。さらに、2. で述べた様に文化は、多様な要因をいかに表現し、利用して行くかと言う最大の課題。また、伝播に伴う文化変容、文化定着など幅広い深淵な問題が山積されている。文化が人間の過去の営みのすべてに起因する以上、学際的な立場からのアプローチが必要であり、諸分野で確立された手法の融合的な積極導入と共に、知識ベース、データベースを始めとする情報科学の総合的な応用を考える事が必要と思われる。

謝辞

本研究を進めるに当たり、日頃真剣な討論、御助言を戴く岡山理科大学・今枝国之助教授、大阪電気通信大学・小沢一雅教授、また、考古学分野より御示唆を賜わる岡山理科大学・小林博昭助教授、亀田修一講師、鎌木義昌教授、セトルメント・システムについて、コメントを戴いた奈良大学・酒井龍一助教授に深謝いたします。

参考文献

- (1) Orton,C. : *Mathematics in Archaeology*, Cambridge Uni. Press, p248, New York (1980).
- (2) 考古学ジャーナル、215、p51(1983).
- (3) 杉田繁治：民族学研究における情報処理、国立民族学博物館研究報告、Vol.4、No.4、pp24-42 (1979).
- (4) Childe,V.G.(近藤義郎 訳)：考古学の方法、河出書房新社、pp24-26、東京（昭.56）.
- (5) 小沢一雅：考古学研究支援型データベースシステムの構成、情処論、Vol.26、No.5、pp936-945 (1986).
- (6) Aho,A.V.他(野崎、野下 訳)：アルゴリズムの設計と解析 I、サイエンス社、pp182-190、東京（昭.52）.
- (7) Spira,P.M. : A new algorithm for finding all shortest paths in a graph of positive arcs in average time $O(n^2 \log^2 n)$, SIAM J.Computing 2:1, pp28-32(1973).
- (8) 大阪府史編集専門委員会：大阪府史、第1巻、古代編 I、pp129-186(1978).
- (9) C.T.Keally : セトルメント・アーケオロジー、信濃、23-2、pp56-65(1971).
- (10) 後藤 和民：縄文集落の概念、縄文文化の研究、8、雄山閣、pp20-48(1982).
- (11) 酒井 龍一：弥生時代中期・畿内社会の構造とセトルメントシステム、文化財学報、奈良大学、pp37-51(1984) .
- (12) 酒井 龍一：石器組成からみた弥生人の生業行動パターン、文化財学報、奈良大学、pp19-37 (1986).
- (13) 加藤,小林,小沢,今枝：文化伝播におけるモデル構成、33回情処全大、5W-2、pp2395-2396 (1986).
- (14) 加藤,小林,小沢,今枝：文化伝播におけるモデル構成(2)、34回情処全大、1H-3、pp2191-2192 (1987).