

日本古代史における移動コスト分析の一応用例

藤原仲麻呂の乱における東山道ルートと田原道ルートの比較実験から

清野 陽一

京都大学大学院 人間・環境学研究科

金田 明大

奈良文化財研究所

本研究では日本古代史研究において GIS を活用することで、これまでは同時代資料の中でのみ相互比較されてきた史料中の具体的な数値データをより具体的に史料批判を行う事ができるようになり、文献史学が新たな研究の段階へと進む事を手助けすることができる技術であることを示す。具体的には8世紀半ばに起こった藤原仲麻呂の乱における仲麻呂軍と追討軍との勢多唐橋をめぐる攻防に焦点を当て、そのルートを GIS を用いて解析し、実際の史料の記述と対比することで、より詳細な仲麻呂軍や追討軍の内実、置かれていた環境などを想定することが可能になった。また、今回はフリー/オープンソースソフトウェアを用いることで、低コストで高機能な分析環境を整えることが可能であることもあわせて示し、文献史学における定量分析の敷居を下げることに貢献していきたい。

An Application of Least-Cost Pathways Analysis for the Ancient Japanese History

Yoichi Seino

Graduate School of
Human and Environmental Studies
Kyoto University

Akihiro Kaneda

Nara National Research Institute for
Cultural Properties

This paper presents an attempt to use GIS(especially FOSS4G) for analysis or simulation not only the study in archaeological(prehistorical) period but also in historical period in Japan. Our researches and experiments are the Cost Surface Analysis about the Battle of Seta-no-Karahashi(the Karahashi bridge at Seta) in the Nakamaro Fujiwara's revolt at the 764 A.D. in Japan. As a result, we find that the government army got to the bridge before the Nakamaro's arrival in spite of the government army route is longer than Nakamaro's one on time-based cost model. We can get the numerical data to use GIS, and then we can criticize the documented data in the real sense of the term. We are concretely able to understand the ancient documents using these methods now.

1. 日本古代史における GIS 利用の可能性

日本において考古学研究に GIS を利用した手法は、近年非常に盛んである[1]。しかし、その応用例は先史時代を対象とした研究事例は多いものの、日本の古代など、歴史資料が同時併存する歴史時代における研究例はあまり存在しない。先史考古学においては具体的な数字というものが記録に無く、シミュレーションによってそれを知ることが、研究に益するところが大きいために積極的に利用されていると考えられるが、一方文献資料には具体的な数値やそれを類推できるような情報が載っていることが多く、強いシミュレーションなどを行う必要性が生まれてこず、むしろその数字の解釈の段階へとすぐに移ってしまうことが、研究者に定量的分析を行おうというモチベーションを生起せしめない理由と考えられる。しかし実際に資料に書かれている数字を研究する際には当然史料批判が加えられる必要があり、そのためには定量的に導きだされた対案としての数字も把握しておく必要があるだろう。日本古代史研究においても従来からその数字の意味するところを明らかにしようとする研究はあり[2]、近年においても、人口シミュレーションや歴史的空間復元に積極的な今津勝紀の研究[3]などが注目されるが、定量的な分析を伴った研究はまだ低調である。

そこで、本研究においては、そのような研究が文献史学分野においても活発に行われるための布石として、数ある定量的な分析の中でも、GIS を用いた空間分析を試みた。具体的には、交通に関する分野で移動コスト分析を行うことで、史料上に登場する人やものの移動に関する研究をさらに一歩進めようとするものである。

幸い、日本には古代における文献資料が世界的にも稀なほど良く遺存している。これらの中には、具体的な移動に關しての時間情報が含まれているものも多い。これらの数字と GIS を用いた分析によって導きだされた数値をクロスチェックすることで、新たな次元で議論をすることが可能になり、より豊かな研究成果が生まれることが期待できる。かつて、そこに書かれた数字を無批判に利用していた段階から、史料の中においてクロスチェックする段階にまで進んできたが、我々はさらにそ

こに、他の所与の条件から計算によって該当する数字をもって相互比較出来る段階にまで来た。特に、実際の実効性のある数字を出そうとすると、空間解像度が高くなりがちで、その計算量が膨大となる空間分析においては、コンピュータの活用無くしては実現不可能な分析であり、歴史時代研究において GIS を利用してこの種の研究を行うことは不可避であろう。

具体的な分析対象としては、奈良時代における最大規模の内乱、藤原仲麻呂の乱を取り上げ、仲麻呂軍と追討軍の平城宮から勢多唐橋までの追討劇という具体的な歴史事象を、GIS を用いて分析し、日本古代史における GIS 利用の問題点と可能性を探ってみたい。本研究に取り組むきっかけは、共同研究者である金田に対して、所内より藤原仲麻呂の乱に関する問い合わせがあり、それに応える形で研究を始めたものだが、本研究における結果の責任については筆者らにある。

2. 藤原仲麻呂の乱と今回の分析対象について

ここで簡単に、これから研究対象とする藤原仲麻呂の乱について触れておく。藤原仲麻呂の乱とは、天平宝字 8 年（764 年）9 月に時の宰相藤原仲麻呂（恵美押勝）によって起こされた内乱である。仲麻呂が内乱を起こすに至った要因は、多くの研究者によって様々な理由が考えられているが、その直前まで国家の宰相としてのポストにあった藤原仲麻呂が、一夜にして反逆者となり、わずか 10 日も経たずに鎮圧され、その場で処刑されるという、奈良時代における最もショッキングな政治的事件の一つである。今回はその中でも、その最初の段階である、仲麻呂が平城宮内において玉璽と駅鈴の奪取に失敗し、一族を連れて近江国府へと向かうが、それに先回りした官軍の山背守日下部子麻呂と衛門少尉佐伯伊多智らが勢多唐橋を落とし、仲麻呂軍の行く手を阻むという追討劇の部分に関して分析を行った。

仲麻呂と官軍が通ったルートについては『続日本紀』の記述である程度そのルートが推測できる[4]。仲麻呂については当時の官道であった宇治を経て山科盆地を北上し、逢坂関を越えて近江に入るルートを通ったことが推察され、一方、先を急ぐ官軍側は現在の宇治田原中心街を通る、「田原道」を通ったとの記述がある。

なお、なぜ仲麻呂が近江に向かうと追討軍が察しえたかについては、当時近江国は仲麻呂の経済的基盤があり、また近江国府の兵は、直前に都督四畿内三関近江丹波播磨等国兵事使に自ら就いた仲麻呂が最も都の近くで動員できた大規模な兵力であり、また馬などの調達も国府に拠ることによって容易になると考えたからであると推測される。加えて、当時近江国の隣国の越前国には息子の藤原辛加知が国守として赴任していた事も大きかった。更に言えば、壬申の乱に際しても伊勢国・美濃国といった東国を押さえた大海人皇子が勝利しており、三関がすべて近江国に隣接して設置されていることも、近江という地域がいかに戦略上重要な場所であったか容易に想像が出来る。なお、乱の当時近江国府は勢多唐橋の東側、瀬田丘陵上に存在していた。

本研究では、史料中の人物らの動きに基づき、平城宮をスタート地点として勢多唐橋までのそれぞれのルートのコスト平面を算出し、演繹的に算出した場合に移動コストがどれほどの差を生じるのか、またなぜ実際には追討軍側が先回りすることができたのかについて検討を行なった。

3. 分析手法について

今回の研究ではフリー／オープンソースな地理空間解析のためのソフトウェア群、通称 FOSS4G (Free and Open Source Software for Geospatial) と呼ばれる GIS を用いて解析を行った。具体的には解析エンジンとして GRASS-GIS、表示ソフトウェアとして Quantum GIS (QGIS)、データのインポート等に GDAL、投影座標系変換に Proj.4 などのソフトウェア及びライブラリを利用している。

ベースマップとしては、国土地理院提供の基盤地図情報のうち、数値標高モデルの 10 m メッシュ（標高）を利用し、表示を助けるための水系データとして、都市計画区域と縮尺レベル 25000 の水涯線のデータ、および国土交通省提供の国土数値情報 (JPGIS 準拠) の河川データ（線）と湖沼データ（面）を利用した。

続いて、標高データによるデジタル標高モデル (DEM) を元に、歩行にかかる移動コストを算出するプログラム (GRASS-GIS に含まれる r.walk モジュール) を利用して、平城宮から勢多唐橋までの移動コストを出した。

最後にそのデータを段彩図にし、河川・湖沼などの情報をオーバーレイして表示し考察を行った。

なお、ゴールとなる勢多唐橋は現在の唐橋より約 70 m 下流に存在したことが発掘調査によって明らかになっているため[5]、その場所を用いて解析を行った。

ここで、今回用いた移動コストの算出モデルについて簡単に触れておきたい。デジタル標高モデルにおいて移動コストを算出する関数にはいくつもの種類が存在することが知られているが[6]、今回は GRASS-GIS に実装されている r.walk モジュールを用いた。これは Langmuir によって算出されたパラメータ[7]を元につくられており、算出単位は秒となっている (図 1) [8]。具体的には、DEM か

$$T = [(a) * (\Delta S)] + [(b) * (\Delta H \text{ uphill})] + [(c) * (\Delta H \text{ moderate downhill})] + [(d) * (\Delta H \text{ steep downhill})]$$

where:

T is time of movement in seconds,

Delta S is the distance covered in meters,

Delta H is the altitude difference in meter.

The a, b, c, d parameters take in account movement speed in the different conditions and are linked to:

a: underfoot condition ($a = 1 / \text{walking_speed}$)

b: underfoot condition and cost associated to movement uphill

c: underfoot condition and cost associated to movement moderate downhill

d: underfoot condition and cost associated to movement steep downhill

図 1 GRASS-GIS の r.walk モジュール [8]より

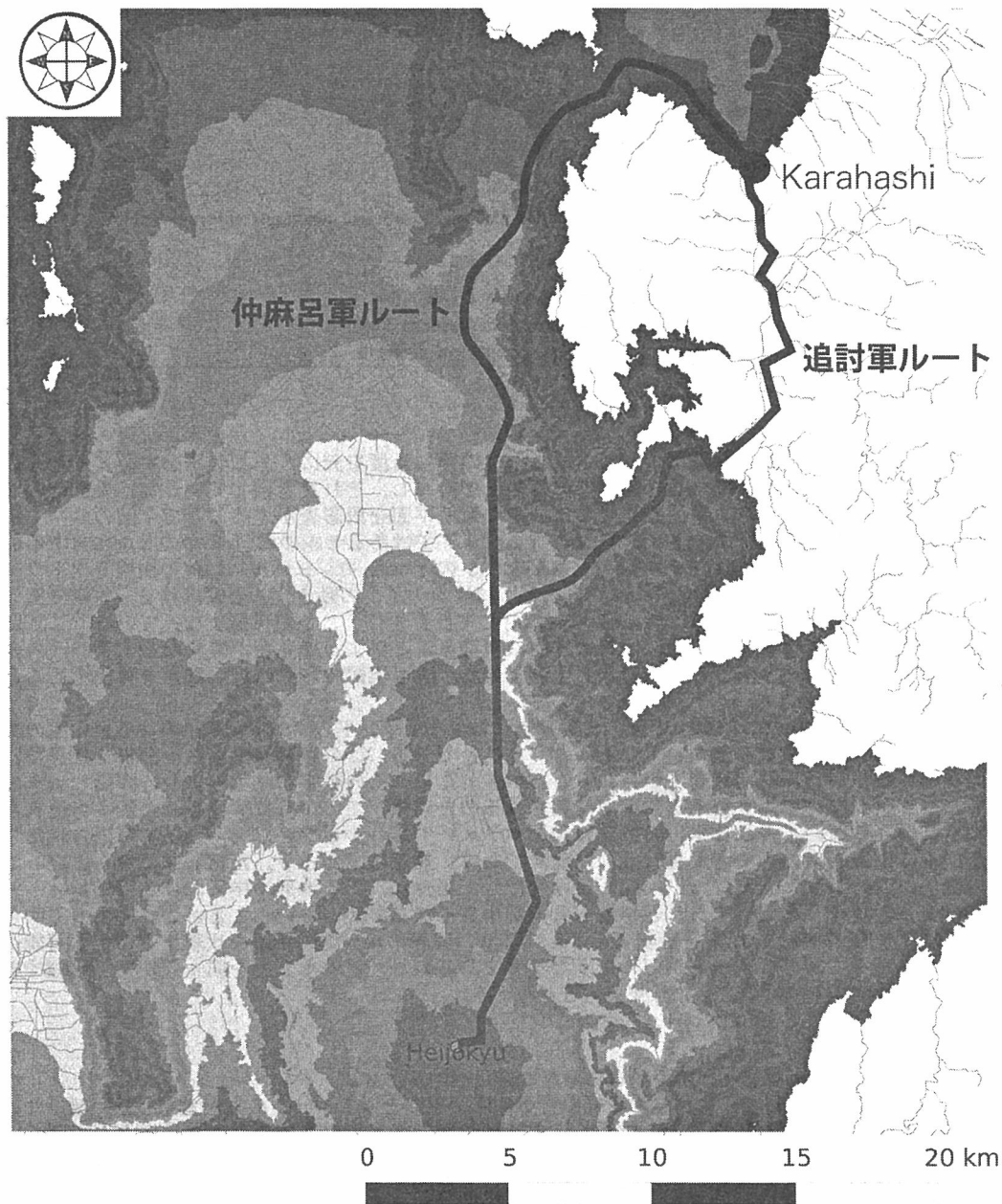
ら各セルに対する傾斜面を計算によって生成し、その傾斜角度を元に、あるセルを中心とした周辺のセルに対して、一マス移動するに際してのコストを計算し、それを累積していった結果をそのセルに書き込み、新しいコスト平面を作成する。その数値平面を段彩表示することで今回のコスト平面が出来上がっている。なお、通常の GIS ソフトウェアではあるセルの周囲 8 つのセルに対する移動コストを計算するのが一般的であるが、GRASS-GIS の r.walk モジュールには他の商用ソフトウェアには無い機能として、「knight's move (チェスにおけるナイトの動き)」と呼ばれる、将棋で言うところの桂馬のような動きを加えた、16 方向に対して計算を行うことが可能となっている。これによって、実際の斜面などを登る際に、斜め方向に横切ることによって負荷が軽くなるトラバースの動きなどをシミュレートすることができると考えられ、より実際の移動に近い動きを算出することが可能になっている。

ただし注意しなければいけないのは、この数値はスコットランドの 19 世紀末における登山家の動きを元に算出された関数に基づいている、ということである。この種の移動コスト分析では実際に算出される数値が具体的な時間で示されることが多いため、その数字を鵜呑みにして評価しようとしてしまうが、史料中に登場する数字が批判されるのと同様、このように算出された数字も批判されなければならない。古代日本における詳細なパラメータがわからない以上、ここで算出された時間を即そのままだてはめて考察を行うのは危険であり、無意味であろう。ただし、だからといってこの数値に意味が無い訳ではない。同一条件を付した場合に、ある地形の中における移動コストとしてはどのルートを選択することが最も負荷が小さくなるのか、ということがこれによって明らかになり、一方 GIS 上で地図を計測することにより、実際のルートの距離を比較することも可能になる。したがって、どのルートがどのような状態であるのか、ということ在同一条件下で比較することに移動コスト分析の大きな意味があると考ええる。

4. 解析結果

上記の解析から様々なことを読み取ることができた(図 2, 3)。

まず、全体の傾向として、山科盆地を経由する仲麻呂軍のとしたルートの方が水平移動距離は長いものの、傾斜などによる移動コストは低く、より短時間で勢多唐橋までたどり着くことができる。一方、現在の宇治田原町の小盆地を経由する追討軍のルートは、水平移動距離は短いものの、傾斜などによる移動コストが高く、より時間がかかることがわかった。これは平城宮をもし仮に同時に出発した場合、同一条件で移動した場合は仲麻呂ルートが勢多唐橋に到着する段階で、田原道ではまだ宇治田原市街地までしか到達できていない、ということの意味している。しかし、実際の乱においては、追討軍は仲麻呂より後に出発しているにもかかわらず、先に勢多唐橋に到着して橋を焼き落とし、仲麻呂が近江国府に入ることを防いでいる[9]。このことから、史料には書かれていないものの、追討軍が何らかの手段を講じて仲麻呂軍より速いスピードをもって勢多唐橋に達したことが想定される。具体的には、仲麻呂軍が一族郎党を率いた大人数による徒歩の移動だったのに対して、追討軍は出遅れた分を取り戻すため、馬などを利用し、かつ少人数の部隊により、高速移動を目指したのではないだろうか。さらに精鋭部隊ということで多少険しい路だとしてもより目的地まで距離が短いルートを選ぶことが可能だったのではないかと推測される。定量分析を行った結果から、実際の史料には描かれていない現場の状況を知ることが可能となり、実際の解釈をする上でも



この地図は、国土地理院作成の基盤地図情報(数値標高モデル10mメッシュ(標高))および国土交通省作成の国土数値情報(河川・湖沼データ)を使用したものである。

図 2 平城宮から勢多唐橋までの仲麻呂軍および追討軍のルートとコスト平面。塗り分けの 1 単位が 1 時間相当。

考慮すべき条件がまた一つ加わる事となった。今後はこの条件を文献史学者と共に実証的に考えていきたい。

他にも、GIS の解析結果では、瀬田川沿いを遡るルートも田原道以上に、よりコストの低いルートとして読み取ることができる。しかし、現在はこの谷に道路が付けられているものの、実際に現地に行ってみると当時は切り立った崖が続く瀬であった可能性が高い。また、当時は上流にダム・堰

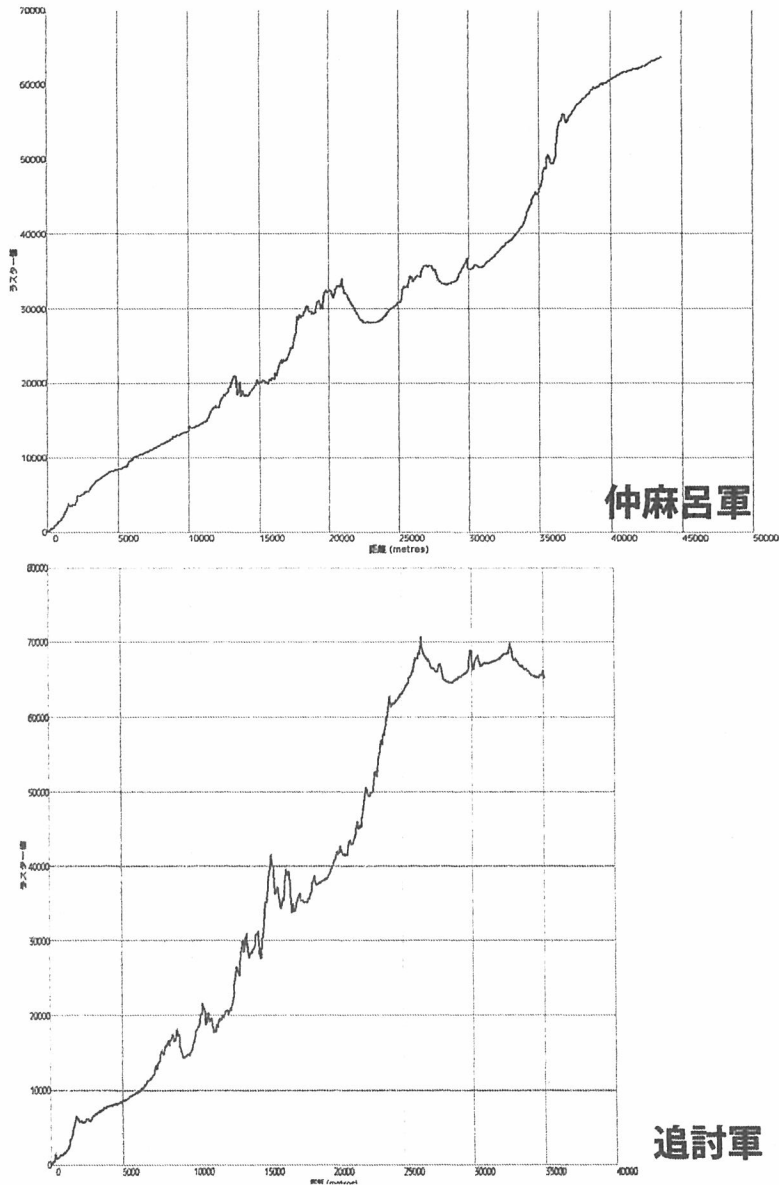


図 3 仲麻呂軍（上）と追討軍（下）のコスト変化量グラフ．縦軸が累積コスト量（秒），横軸が実際の移動距離（m）

が存在せず現在よりも瀬田川の水位は高かったと考えられるため，このルートが有効なルートであった可能性は低いと考えられる．単純にシミュレーション結果だけで考えるのではなく，実際に現地に足を運ぶことで，こうした定量分析が陥りがちな，ありえないシミュレーション結果という簡単なミスも防ぐことが可能になるだろう．

5. 課題と展望

今回の解析では残念ながら古地形の復元を試みる事ができなかった．具体的には，東山道（仲麻呂ルート）上には当時巨大な内水面である巨椋池が存在していたことがわかっているが，現在の標高データを用いて解析を行ったため，その部分が陸地として計算されてしまっている．ここを内水

面として通行不可能（もしくは徒歩以外の移動手段）という設定をした場合には、計算結果の差が生まれる可能性が高い。また、途中で行く手を阻む河川についても、現在の GIS において有効なパラメータを設定することは難しい現状となっている。今後、古地形や古環境の復元に関する調査を進め、解析結果をより当時の状況に近づけていく努力を進めたい[10]。

本研究とは別に、GPS 測量や運動強度を測る機材を用いて実際に現地を歩き、人間が歩行した場合に実際はどのくらいの移動コストがかかるのかを測定する実験も併せて行っている。その数字が即古代の人々の移動コストを表すパラメータにはならないが、今後、より妥当性の高い古代の日本における移動コストパラメータが導きだせるよう、GIS を用いた研究手法の深化に努めていきたい。

一方、パラメータの問題ではない形で、シミュレーション結果が必ずしも史料によって知られる値とは一致しない場合も多い。これはおそらく何らかの理由により史料上に登場する数値が実際のものとは異なった値となっている可能性を示しているものと推察される。このギャップにこそ歴史の真実が隠されており、今後はなぜシミュレーション結果と史料が乖離するのか、その背後に隠された歴史的考察も行い、文献史学との協業にも努めたい。

GIS を用いて物事を定量的に分析する舞台が整うことによって隣接する諸科学との協業もより容易になるのではないかと考えられる。日本古代史においては考古学が最も近い隣接科学になるのだろうが、今回の研究のような交通史に関わる分野では、地理学や運動生理学との協業も視野に入れていかなければならないだろう。そのステージに立つ際には共通言語が必要とされ、それには GIS が不可欠な存在であると考えられる。

最後に、今回はあえて戦略的に FOSS4G である GRASS-GIS と QGIS を用いた。これは、日本では、理工系の研究分野と違い、個人で研究することが多い日本古代史や考古学などの研究者にとって、現状の商用 GIS ソフトウェアの価格は非常に高価であり、導入にあたっての障壁となっているが、FOSS4G を利用することで、個人レベルで研究している研究者にも GIS を用いた研究の門戸を開けるようになると考えたからである。とはいえ、これまではこの種のソフトウェアは操作にあたって非常に高度な専門知識が必要とされ、たとえ導入コストが安価であっても結局は学習コストがそれを上回ってしまい対価に見合わなかった。しかし近年コンピュータが安価・高性能となり、またそれに伴ってソフトウェアの開発も日進月歩の速度で進化していることから、このような FOSS4G ソフトウェアを文系研究者が扱うことも、以前ほど障壁のあるものではなくなってきた。近年では日本生態学会において QGIS のハンズオンセミナーが開催されるなど[11]、その普及は加速している。そのため今後こういったソフトウェアの活用がますます推進されるためにはノウハウを蓄積することが重要であるとの問題意識に基づいて、今回は積極的に活用した。また、フリー/オープンソースであることから、商用ソフトウェアではブラックボックスとなりがちな解析アルゴリズムの部分も、自分で調べることができ、必要とあれば改変して使用、また同じ興味をもつ研究者へ再配布することも可能である。研究者自身が自ら使う研究ツールの中身を知っておくことは重要であり、自らの問題意識に基づいた解析を行えることもこの種のソフトウェアを利用することのメリットである。これからますますこうしたソフトウェアの利用が各分野において活発になることを期待したい。

参考文献

- [1]宇野隆夫編著：実践考古学 GIS，NTT 出版，2006。
- [2]澤田吾一：奈良朝時代民政経済の数的研究，1927。
- [3]今津勝紀：日本古代の村落と地域社会，考古学研究』，Vol.50，No.3，2003。今津勝紀：GIS を利用した歴史的空間復元についての基礎的検討－播磨国賀茂郡・美濃国賀茂郡半布里の事例－，地理情報システムを用いた歴史的地域景観復元のための技術的検討，2008。
- [4]『続日本紀』巻第二十五天平宝字八年九月乙巳条および壬子条。
- [5]滋賀県教育委員会・（財）滋賀県文化財保護協会：唐橋遺跡，1992。
- [6]Kondo Yasuhisa and Seino Yoichi: "GPS/GIS-aided walking experiments and data-driven travel cost modeling on the historical road of Nakasendo-Kisoji (Central Highland Japan)", B. Frischer, J.W. Crawford and Koller D (eds.), *Making History Interactive. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA). Proceedings of the 37th International Conference, Williamsburg, Virginia, United States of America, March 22-26, 2009*. BAR International Series 2079, Oxford: Archaeopress, pp.158-165, 2010。
- [7]Markus Neteler and Helena Mitasova, Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Third Edition, The International Series in Engineering and Computer Science: Volume 773, Springer, New York, 2008。
- [8]http://grass.fbk.eu/grass64/manuals/html64_user/r.walk.html。（2010 年 11 月 15 日アクセス）
- [9]『続日本紀』巻第二十五天平宝字八年九月壬子条。
- [10]鈴木一久：京都南部、巨椋池干拓地と周辺地域の歴史，堆積学研究，vol.68，No.1，pp.49-57，2009。
- [11]2010 年 3 月 15 日東京大学駒場キャンパスにおける日本生態学会第 57 回大会にて開催。