

# 学位論文の概要

# Evidence for paddy-field derived nutrients and their horizontal transport in Lake Biwa, Japan

(琵琶湖における水田由来栄養塩及びそれらの水平輸送の確認)

Lidia Lie Tanaka (田中リジア・リエ)

環境動態学専攻

## 学位論文の概要

1960年代以降の高度経済成長期に日本各地の湖沼で富栄養化問題が顕在化した。琵琶湖でも1970年代以降、アオコや淡水赤潮の発生が頻発するようになった。これらは環境水中へのリン負荷量が増加したことに由来することが明らかとなり、その後の排出規制によって徐々に緩和される傾向にある。しかし、田畑からの面源負荷が湖に与えている影響についてはまだ良くわかっていない部分が多い。琵琶湖流域には多くの水田があるにもかかわらず、それらから流出する農業排水が湖沼生態系にどのような影響をあたえているのか詳細に検討した研究は少ない。本論文では、現場実験と詳細な調査・観測によって、琵琶湖沖帯での植物プランクトンの時空間分布、そして琵琶湖とその流入河川における栄養塩と除草剤の時空間分布を調べ、これらと同時に湖流を解析することで、水田由来の栄養塩が琵琶湖の沖帯へ輸送され、そこでの植物プランクトン生産を促進している可能性について検討した。

本論文の内容は序論に続くChapter 2からChapter 5の4章で構成される。まず、Chapter 2では、栄養塩と植物プランクトンについて周年を通じた短い時間間隔での調査と栄養塩添加実験を同時に行うことで、陸域からの栄養塩負荷と植物プランクトン生産および種組成の関係を検討した。Chapter 3では、栄養塩の空間分布を詳細に調べることによって、水田起源と考えられる栄養塩の流入過程について考察した。Chapter 4では、水田で用いられる除草剤の時空間分布を調べ、水田からの排水が湖全域に渡って特定の深度に輸送されていることを明らかにした。Chapter 5では、湖流を実測しその詳細を分析することで沿岸帯へ流出した水田排水が湖沖帯へ輸送される過程について検討した。

Chapter 2：2002年1～12月に琵琶湖北湖の最深部付近に設けた定点で行った調査では、植物プランクトン生物量は5月と8月と11月に多く、 $^{13}\text{C}$ 法で測定された一次生産量は5月に最も高かった。このとき、溶存態のリン酸塩濃度が周年を通して極めて低かったのに対して、アンモニア濃度は4月下旬から6月中旬の期間、10～25mの垂表層で極大を示した。同時に行った栄養塩添加実験は、植物プランクトンが4月にはすでにリン不足だったにもか

かわらず5月にはリン不足ではなかったことを明らかにした。このことは5月に新たな栄養塩負荷があったことを示唆しており、これがちょうど田植え時期に一致していたことから水田由来の栄養塩が植物プランクトン生産を促進した可能性が考えられた。

Chapter 3：2004年には4～6月に湖を東西に横断する2つの観測線を設け、アンモニアを含む栄養塩と植物プランクトン色素の空間分布を詳細に調べた。これによって、2002年の4～6月に観測されたアンモニアの垂表層極大は琵琶湖北湖の東西断面の広い範囲に渡って認められることが分かった。一方、水田からの排水が多く含まれる宇曾川河口域でのアンモニア濃度は5月初旬に最も高かった。この時期の河川水温は湖表層の水温より高いために浅い層に流入すると考えられるが、河川水温の日較差を考慮すると夜間にはちょうどアンモニア極大が認められた深度の水温まで低下することが分かった。つまり、水田由来の栄養塩が夜間に中層へ陥入することでアンモニアの垂表層極大が形成されている可能性が示唆された。

Chapter 4：2004年には4～8月に宇曾川、姉川、天野川のそれぞれ河口域と琵琶湖沖帯にて、4種の除草剤 (simetryn, mefenacet, bromobutide, dymron) 濃度を測定した。さらに、2005年5月と2006年4～7月には、琵琶湖沖帯にてこれら4種の除草剤の鉛直分布を調べた。河口域での除草剤濃度は水田排水が最も多く含まれる宇曾川で最も高く、bromobutide と dymron の時間変化はアンモニア濃度のそれと良く一致した。湖沖帯での除草剤濃度はいずれの除草剤でも5月中旬から下旬にかけて高くなり、琵琶湖へ流入した水田排水が半月ほどの間に湖沖帯へ運ばれることが明らかになった。また、鉛直分布を調べることによって除草剤が湖表面だけではなく20m付近にも極大を持つことが分かった。これはアンモニア極大と良く一致し、Chapter 3での結論を強く支持する結果となった。

Chapter 5：内部波による水平輸送の可能性を調べるために、2005年4～5月には、ドップラー流向流速計 (ADCP) とサーミスタチェーンを用い、湖流の解析を行った。スペクトル解析の結果、調査時期におよそ3日周期の強い内部波が形成されていたことが明らかとなった。この内部波と湖底斜面によって沖へ向かう湖流が形成されていることが示

唆され、この流れが沿岸域へ流入した水田由来物質を沖帯へ輸送しているものと考えられた。また、ADCPのデータを解析することでレイノルズストレスを計算することができるが、これは内部波による湖底の巻き上げを予測する。解析の結果、水深12m以浅の場所では内部波による湖底堆積物の再懸濁が生じている可能性が示され、これは沖帯への栄養塩負荷のもう一つの供給源と考えられた。

これらの結果を総合して、本論文は水田由来の面源負荷が河川を通して琵琶湖の表層および中層に流入することを示し、これら水田由来物質が内部波によって沿岸から沖帯まで輸送され、そこでの水質および一次生産に影響を与えている可能性を示唆した。

# オオセンチコガネの地理的色彩変異の総合的研究 - 保全管理単位の認識を中心として -

赤嶺真由美  
環境動態学専攻

## 第1章 序論

近年、人間活動の直接的・間接的影響による種の絶滅や個体群サイズの危機的な減少が数多く報告されている。このような事態に対して保全生物学では、表現型のみに基づく分類に加えて遺伝子流動や自然淘汰を担う単位（進化し続ける動的な実体）を考慮した分類をおこなうことが、適切な保全対策をたてるためや、保全の労力を浪費しないための最初の重要なステップとして位置付けられている。

オオセンチコガネ *Phelotrupes auratus* は、甲虫目コガネムシ上科センチコガネ属の糞虫である。日本の北海道から九州、極東ロシア、朝鮮半島、中国東北部に分布している。日本産糞虫では大型種であり、森林生態系における獣糞の主要な分解者であると考えられる。本種は、金属光沢のある色彩をもち、その色彩に地理的変異を示す。特に近畿地方での変異は顕著で、3つの色彩型（アカ型、ミドリ型、ルリ型）が側所的に分布する（中根 1952）。またアカ型は近畿だけでなく日本国内全域に分布し、ルリ型とミドリ型はそれぞれ屋久島と北海道東南部にも局所的に分布する（水野 1964）。本種の亜種分類は主にこの地理的色彩変異に基づいておこなわれてきたが、その分類学的扱いは著者ごとに様々で統一されていない。本種は長崎県で絶滅危惧種Ⅱ類（VU）、宮崎県、高知県、島根県、長野県では準絶滅危惧種（NT）に指定されている。保全のための正しい判断を下すためには比較的緊急を要さない現段階で分類学的問題点を解決することが期待される。本研究では、本種の分類学的問題の解決にむけて、以下の2章から4章の研究をおこなった。

## 第2章 オオセンチコガネの鞘翅の構造色 - 近畿地方の3つの色彩型を形成する物理的メカニズム -

本種の金属光沢のある色彩は構造色であると考えられている。構造色は表層の微細構造による発色であり数種類が知られる。コガネムシ上科では多層膜タイプとコレステリックタイプの2種類が知られているが、本種の色彩の物理的メカニズムは明らかでない。本研究ではまず表層に起因した色彩かを確認するため鞘翅表面を紙やすりで削り、反射スペクトルの変化を確認した。反射スペクトルのピークは、鞘翅を紙やすりで削る段階1で弱くなり、段階2でほぼ見られなくなったことから、色彩は表層に起因

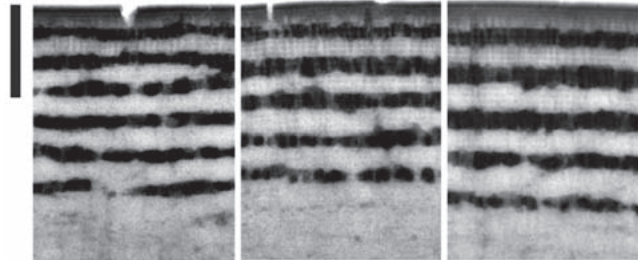


図1 透過型電子顕微鏡で観察された鞘翅切片。鞘翅切片。左、ルリ型；中、ミドリ型；右、アカ型。スケールは500 nmを示す。

するものと確認された。

次にコレステリックタイプの可能性を調べるため、右円偏光板を用いた観察をおこなった。通常の左円偏光を反射するコレステリックタイプの場合、右円偏光板を通して見ると色は失われるが、本種では失われなかった。またクロスした直線偏光板を用いて左右両方の円偏光を反射する特殊なコレステリックタイプでないことも確認した。

さらに、透過型電子顕微鏡による鞘翅切片の観察では、表面付近に密度の異なる10～12層の薄層が観察された（図1）。この層の厚さは、異なる色彩型の個体間で異なり、その厚さは $\lambda_{\max}(a)$ （説明は3章を参照）の値にほぼ比例していた。これらから本種の色彩は多層膜構造によって生み出されていることが明らかになった。この結果は、色彩を一種の形態形質として $\lambda_{\max}(a)$ によって解析することが可能であることを示している。

## 第3章 色彩の地理的変異のスペクトル解析

本種の色彩は従来、ヒトの視覚により評価されてきた。一方 Watanabe et al. (2002a, b) は鞘翅の反射スペクトルを計測し、近畿地方の3つの色彩型の分布域からそれぞれ選ばれた3個体群はヒトの可視領域（400 - 700 nm）の反射スペクトルのピークの波長、 $\lambda_{\max}(a)$ に基づき判別できることを示した。この方法は色彩を定量的に評価できる点で非常に優れている。よって本研究ではまず、大陸産を含めた分布域の広域における25地点から集めた個体の鞘翅の色彩の定量的測定をおこなった。日本国内の個体では反射スペクトルの可視領域に1つのピークがみられたのに対し、大陸産のものでは2つのピークがみられた（図2）。大陸および関東以

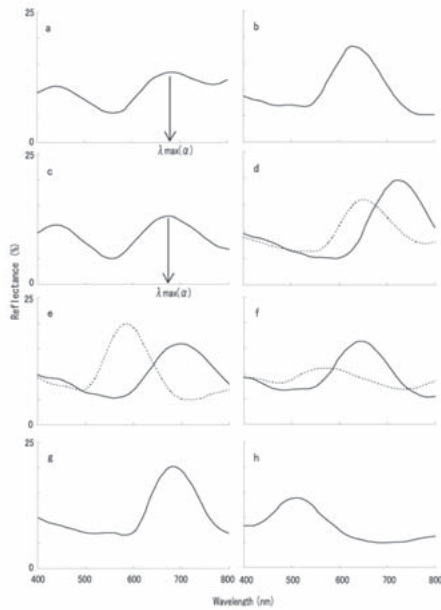


図2 各個体群の代表個体の反射スペクトル。個体群内の $\lambda_{max}(a)$ の頻度分布で二峰型を示した個体群のみ実線と点線でそれぞれの代表個体の反射スペクトルを示した。a, ナホトカ; b, 美作; c, チョンマ山; d, 滑川; e, 美岬; f, 都井岬; g, 大胡町; h, 屋久島。

北の個体群では、反射スペクトルのピークの値が700nmを越える個体がみられた。このため $\lambda_{max}(a)$ を400 - 800nmの最大のピークの波長と再定義した。屋久島個体群（屋久島亜種）と紀伊半島のルリ型個体群（原名亜種）の間および、原名亜種の北海道個体群と近畿地方中部のミドリ型個体群の間では、それぞれ $\lambda_{max}(a)$ の値はほとんど変わらなかった（図3）。

第二に、3つの色彩型が側所的に分布する近畿地方の広い範囲の23地点について同様の調査をおこなった。紀伊半島に分布する、従来ルリ型とされる個体群の $\lambda_{max}(a)$ は、その他の地域の個体群との間でほとんどオーバーラップがみられないほど大きく異なっていた。また、琵琶湖南部と琵琶湖西部の個体群では、分布域が接しているにもかかわらず $\lambda_{max}(a)$ は大きく異なっていた。これらの地域は、従来それぞれミドリ型、アカ型とされていた地域と一致した。一方、琵琶湖南部と琵琶湖東部の個体群間では、 $\lambda_{max}(a)$ の変化は連続的でラインを形成し、琵琶湖東部の北端の個体群では、アカ型とされる琵琶湖西部の個体群とほぼ同じ $\lambda_{max}(a)$ の値をもっていた。つまり、琵琶湖東部ではアカ型とミドリ型は連続しており区別できなかった。これらの結果から、これまでおこなわれてきた主に色彩による分類は、一貫性を欠くことが明らかになった。

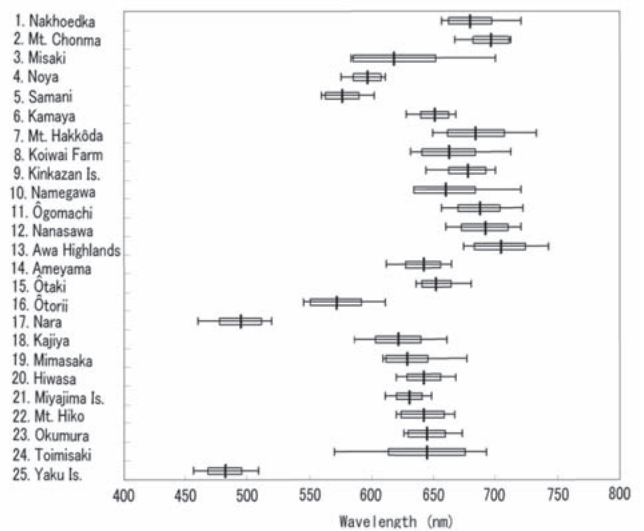


図3 各個体群の $\lambda_{max}(a)$ の平均値（縦棒）、標準偏差（ボックス）、レンジ（横棒）。

### 第4章 ミトコンドリア COI 遺伝子に基づく解析

まず本種の日本列島における系統地理学的パターンを明らかにするため、33地点57個体のmtCOI遺伝子745bpを解析した。近隣接合法、最節約法、ベイズ法で調査されたハプロタイプの系統関係はよ

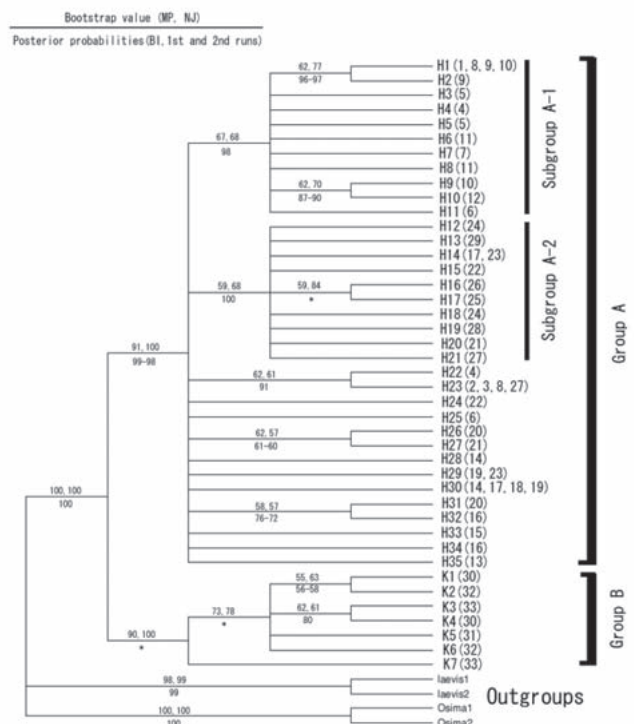


図4 最節約法によるハプロタイプの厳密合意樹（枝長:292、CI:0.69、RI:0.83、HI:0.32）。枝上と枝下の数値は、ブートストラップ値（NJ、MPそれぞれでの1000回繰り返しの値）と事後確率（1回目と2回目の値、数値が同じ場合は1つを表示し、\*は50%以下の場合を示す）。

く一致し、「九州・屋久島」と「北海道・本州・四国」の間の深い分岐が認識され、ベイズ法以外でそれぞれの系統群の単系統性が支持された(図4)。その平均遺伝距離は、 $D_A=0.03 \pm 0.006$ であった。

ヨーロッパに分布する同じセンチコガネ族の *Trypocoprís* 属2種では、COI 遺伝子の系統関係と形態による亜種分類が一致しており、本種と同様の値の平均遺伝距離が報告されている。これらから、本種における「九州・屋久島」と「北海道・本州・四国」の分岐は、近縁の属では亜種に相当することが示唆された。またこの分岐は52 - 120万年前に起こったと推定され、関門海峡形成(約5000年前)よりはるかに古いことが示唆された。また、「九州・屋久島」の単系統群において、屋久島個体群(屋久島亜種)と九州個体群(原名亜種)の分岐は認識されなかった。

第二に近畿地方14地点141個体について集団遺伝学的解析をおこなった。AMOVAの結果、遺伝的変異の82.4%が個体群内に存在し、14.3%が色彩型間に、3.4%が色彩型内の個体群間に存在することが示された。個体群内の平均ヌクレオチド多様性は $\pi_s = 0.005 \pm 0.001$ であった。個体群間の遺伝的な分化の程度を示す $F_{ST}$ の値から、アカ型とミドリ型の間、アカ型とルリ型の間では、遺伝的分化が見られるが、ルリ型とミドリ型の間ではあまり分化が見られなかった。また琵琶湖の西側と東側に分布するアカ型の個体群の間では遺伝的分化が見られた。

## 第5章 総合考察

本研究ではmtDNAの系統解析から「北海道・本州・四国」と「九州・屋久島」の個体群間に、近縁種では亜種間に相当する遺伝的分化が認識された。しかしこの結果は、従来、提案されてきた主に色彩に基づくどの亜種分類とも一致しなかった。さらに亜種 *P. auratus yaku* とされている屋久島産個体は、九州産個体と区別できないことが明らかになった。以上から、本種の保全管理上の単位を認識するための今後の課題として以下のことがあげられる。まず屋久島を含む九州と本州・四国・北海道の個体群の間での形態学的な再検討が必要である。有効な保全の方策をとるためには明確な遺伝的分化の認められる系統群に対して、国際動物命名規約にのっとった正式な亜種名を与えることが望ましい。ただし動物の分類群の認識と記載は形態的形質状態の違いに基づきなされる必要があるため、二つの単系統群の形態学的違いを明らかにする必要がある。しかし、ミトコンドリアDNAに基づいて推定された系統関係は、遺伝子浸透や祖先集団のもつ遺伝的多型のラン

ダム選抜により必ずしも種間(あるいは亜種間)の系統関係とは一致しないことが知られている(Sota & Vogler 2001)。つまり屋久島の個体群は、九州のものから遺伝的に分化した保全管理上意義のある単位となっている可能性は十分残されている。今後この可能性を検討するために核遺伝子のマーカーを使った解析や多くの個体を使った集団遺伝学的解析が必要である。

AMOVAの結果から近畿地方の個体群の遺伝的変異は、約8割が個体群内にあった。その個体群内の平均ヌクレオチド多様性は、近縁種で報告されている値と変わらなかった。しかし本研究では、レッドデータブックに掲載されている地域の個体群内の多様性を調査するまでには至らなかったため、今後はこのような個体群に対して適切な調査が必要である。少なくとも現時点ではmtDNAの系統解析により側所的に分布することが明らかになった「九州・屋久島」の単系統群に含まれる長崎県・宮崎県と「北海道・本州・四国」の単系統群に含まれる島根県・高知県・長野県の個体群の間での別個の遺伝的管理が望まれる。またアカ型とミドリ型の個体群の間に、ある程度の遺伝的分化の存在が明らかになった。一方、ミドリ型とルリ型の個体群の間では、ほとんど遺伝的分化は見られなかった。この結果は近畿地方のミドリ型とルリ型個体群を合わせたものは、琵琶湖の東側と西側に分布するアカ型の個体群からある程度遺伝的に分化した単位として保全管理すべきものであることを示唆している。さらには、 $\lambda_{max}(a)$ の値では区別できない琵琶湖西側に分布する個体群と東側に分布するアカ型個体群の間の遺伝的分化についても同様の管理が望まれる。

最後にもし色彩の変異が遺伝的なものであるとすると、色彩を決める遺伝子の地理的分布パターンが(中立遺伝マーカーとされている)COI遺伝子の地理的変異パターンと一致していないことになる。この不一致の原因を解明するためには、色彩の遺伝様式および色彩にかかる自然淘汰を明らかとしてゆくことが必要と思われる。

# 田畑輪換水田からの水質汚濁物質の流出特性と定量評価に関する研究

杉本 好崇

環境動態学専攻

湖沼や内湾など閉鎖性水域の水環境を健全に管理するためには、特定汚染源だけではなく農地、市街地、山林などの非特定汚染源からの汚濁負荷量も評価する必要がある。そのなかでも、農地は面積が大きく、施肥を行うために単位あたりの負荷量も大きい。わが国の農地の55%は田が占めている。滋賀県の場合、その割合は92%に達する。しかし、水田からの汚濁負荷に関する研究にはいくつかの問題点がある。それは、1)近年実施されている環境保全的農業が多数の耕作者によって行われた場合の汚濁負荷削減効果について十分な評価がされていないことや、2)これまでの調査が水稲の作付け期間に限られており、非作付け期間にはほとんど行われていないために、年間汚濁負荷量の評価が不十分なことである。また、3)田畑輪換栽培における畑作物作付け期間の負荷量についてもほとんど評価されていない。そこで、本論文では、琵琶湖東部に設定した2水田群小流域において、排水、地下浸透水、用水の週1回の定期調査と代かき・田植え時期および降雨流出時の詳細な調査を行い、汚濁負荷対策や畑作物の栽培が田からの汚濁負荷流出量に及ぼす影響を定量的に評価した。

本論文は第1章の序章に続く第2章から第5章で構成される。第2章では、水田の3年間の物質収支を評価し、環境保全的農業による汚濁負荷削減効果を定量的に評価した。第3章では小麦転作期間の降雨時流出および融雪時流出の濃度変動の特徴を明らかにした。第4章では、第3章の結果を受け、小麦および大豆転作期間の汚濁負荷量の定量的評価を行った。また、転作後の水稲作期間の汚濁負荷量の定量的評価も行い、転作による影響を考察した。第5章では、本研究の成果をまとめ、総括を行った。

第2章：調査は6.96haの水田群小流域（29筆）で行った。調査の1年目は慣行法で栽培されたが、2年目と3年目には流域内のすべての区画で滋賀県が環境保全的農業として推進する「環境こだわり農業」が実施され、その基準に従って栽培された。代かき・田植え時期の排水負荷量は毎日採水から得た水質データを用いて評価し、田植え後の作付け期間と非作付け期間の排水負荷量は、負荷量－流量モデル式（L-Q式）を用いて評価した。作付け期間のTN、TP正味汚濁負荷量は、慣行作でそれぞれ28.6、10.1kg ha<sup>-1</sup>であった。環境こだわり作の実施

1年目ではそれぞれ13.4、3.66kg ha<sup>-1</sup>、実施2年目では20.3、5.90kg ha<sup>-1</sup>であり、両年とも慣行作より減少した。特に汚濁負荷削減効果が大きかった代かき・田植え時期について、環境こだわり農業によるTN、TP削減率を求めると、実施1年目はそれぞれ73.82%、2年目は46.62%であった。これらの結果から、環境こだわり農業は、多数の耕作者が実施した場合にも水田の汚濁負荷を削減する方法として有効であると判断された。これまでほとんど評価されてこなかった非作付け期間の汚濁負荷量はTNが10.6～15.8kg ha<sup>-1</sup>、TPが2.47～3.49kg ha<sup>-1</sup>であり、それぞれ作付け期間に匹敵する大きさであった。

第3章：対象流域法を用いて、小麦転作期間の濃度変動と流出負荷量の特徴を明らかにした。田畑輪換田流域（7.44ha、36筆）の小麦転作期間と、第2章で示した水田流域の非作付け期間において、降雨流出時および融雪流出時に調査を行った。水田流域のTN流量加重平均濃度は1.56～2.18mg l<sup>-1</sup>であった。一方、小麦転作流域のTN平均濃度は、作付け後の10月から11月にかけては7.90～9.88mg l<sup>-1</sup>の高濃度であった。このTN濃度の上昇はNO<sub>3</sub>-Nによるものであった。小麦転作流域の耕起・施肥直後のイベントでは流域間の濃度差が最大となった。このイベントの小麦転作流域のTN、TP負荷量は、水田流域よりそれぞれ4.1、1.9倍大きかった。これらの結果から、小麦転作による窒素の流出負荷量の増大を考慮すると、水稲非作付け時期の田が下流域に与える汚濁負荷は、これまで考えられていたよりも大きくなると考えられた。

第4章：第3章で示した田畑輪換田流域において、汚濁負荷量の評価を行った。この流域は小麦－大豆－水稲の栽培体系であった。小麦－大豆転作期間は排水と地下浸透水のNO<sub>3</sub>-N濃度が10mg l<sup>-1</sup>程度まで上昇し、水稲栽培期間とは大きく異なる濃度変動を示した。この期間の排水負荷量を水田流域と同様にL-Q法によって評価し、年間の物質収支を求めた。小麦－大豆転作期間のTN、TP年正味汚濁負荷量はそれぞれ55.3、3.66kg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>であり、窒素負荷量は水田流域の慣行作より1.4倍大きかった。次に、転作がその後の水稲作に与える影響について検討を行った。水稲作1年目の代かき・田植え時期は2年目と比較して排水量が多く、負荷量は約3倍大きかった。この排水量と負荷量の増加は、畑作物の栽

培によって土壤に亀裂が入り、漏水が増加したためと考えられた。

以上の結果から、閉鎖性水域に対する田からの汚濁負荷を評価する場合には、水稻栽培期間だけでなく、畑作物への転作期間や水稻非作付け期間の汚濁負荷についても考慮するべきであると考えられた。



# 大気降下物モニタリングとその評価方法に関する研究

中澤 暦

環境動態学専攻

大気降下物は、非特定汚染源の1つであり、降下塵（乾性沈着）および、降雨（湿性沈着）によりもたらされる。大気降下物は栄養塩、酸性化物質、重金属、POPsなどの陸域への流入経路であり、陸域や水域へ直接影響を与える。しかし、(1)集水域単位での大気降下物負荷量の長期的な評価や(2)大気降下物採取時における採取量のばらつきについての検討はあまり行われてこなかった。さらに、琵琶湖集水域における大気降下物研究はあまり例がない。そこで、本研究では、琵琶湖集水域での大気降下物負荷量の特徴を明らかにすることを目的とした。さらに大気降下物負荷量の評価法についても検討した。

本論文は第1章の「序論」に続いて、第2章「大気降下物モニタリング」と、第3章「大気降下物負荷量の評価」で構成される。

第2章の大気降下物モニタリングでは、第1節で琵琶湖集水域における大気降下物負荷量の長期変動解析を行い、それを受けて、第2節では $\text{NO}_3^-$ 負荷量に着目した地域由来汚染の検討を行った。第3章の大気降下物負荷量の評価では、第2章でのモニタリングで用いた評価法について検討した。すなわち、第1節で大気降下物採取における設置地点の代表性についての検討を行った。それを受けて、第2節では大気中粒子状物質に含まれるリンの起源の検討を行った。

第2章1節：琵琶湖集水域における大気降下物負荷量の長期変動を検討した。調査は朽木、彦根、草津、油日の4地点でバルクデポジットサンプラーを用いて、1990年～2008年に実施した。その結果、 $\text{NO}_3^-$ 大気降下物負荷量は、朽木を除く、彦根、草津、油日の3地点で、2000年以降増加した。特に油日では2000年以前と以降では1.6倍となり他の地点より大きく増加した。

第2章2節：第2章1節で示したように、油日では2000年以降 $\text{NO}_3^-$ 負荷量が増加したが、油日の近傍には窒素化合物を排出する茶園、名阪国道が存在する。さらにバルクデポジットサンプラーの設置地点である油日岳内には高濃度 $\text{NO}_3^-$ 流出林地（油日R）も存在するため、長期変動結果から得られた $\text{NO}_3^-$ 大気降下物負荷量の増加要因を検討するのに適した地点であると考えられる。そこで油日Rの近傍に位置する、名阪国道、茶園などの地域由来汚染源から排出された $\text{NH}_3$ 、 $\text{NO}$ および $\text{NO}_2$ ガスが油日Rの大気中ガスに影響を与えるか否かを検討した。調査は2008年1

月～2009年2月に、油日R、茶園、名阪国道の地点に小川式サンプラーを設置し、大気中ガス濃度を測定する方法で実施した。名阪国道では $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}$ および $\text{NH}_3$ 、茶園では $\text{NO}_2$ の発生源であることが確認された。しかし自動車道路からのガスの揮散の逓減率および、風向の検討から、名阪国道および茶園から揮散したガスの油日Rへの直接影響はないと考えられた。つまり、第2章1節で示した2000年以降の $\text{NO}_3^-$ 大気降下物負荷量の増加の要因はローカルな大気汚染の影響によるものでないことが示唆された。

第3章1節：第2章より、油日での $\text{NO}_3^-$ 大気降下物負荷量の増加要因として、ローカルな大気汚染の影響は小さいと考えられた。バルクデポジットサンプラーは貯水タンクにロートをとりつけたものであるために、小昆虫やリターなどが侵入し、負荷量にばらつきが生じる可能性がある。そこで、大気降下物採取時のばらつきに着目し、第2章1節で用いたものと同様のバルクデポジットサンプラーを、1地点に10台設置した。10台のサンプラーからそれぞれ計算した全窒素（TN）および全リン（TP）の年負荷量の変動係数（CV値）はそれぞれ、2.7、24%で、TPでばらつきが大きくなった。窒素はばらつきが小さいことから、油日での $\text{NO}_3^-$ 大気降下物負荷量は2000年以降確実に増加したと考えられた。しかしその原因は不明である。一方、リンはばらつきが大きいことを考慮して、大気降下物負荷量評価を行うべきであると考えられた。

第3章2節：第3章1節でTP大気降下物負荷量のばらつきが大きくなることが明らかとなったが、その要因を明らかにするための基礎研究として大気中リンの起源について検討した。カスケードインパクトで大気中粒子状物質を捕集した結果から、2～5月の大気中リンは黄砂飛来および花粉飛散に由来することを明らかにした。また、黄砂飛来時には $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ などの大気汚染物質の移流が確認された。陸域において、カスケードインパクトを用いて大気中リンを捕集した研究例はなく、大気中リンを捕集する新たな手法を提案することができた。

本論文の結果を総合すると、琵琶湖集水域への $\text{NO}_3^-$ 大気降下物負荷量は2000年以降確実に増加していることが示唆された。また、リンの大気降下物負荷量は変動が大きくなったが、その要因が大気中粒子状物質に由来する可能性を示唆した。

# 琵琶湖・淀川水系における農薬の残留と琵琶湖流域における水田施用除草剤の流出率予測簡易モデルの開発

川崎 悦子

環境動態学専攻

## 1) 序論

農薬は病害虫や雑草から農作物を守り、生産性の向上に大きな役割を果たすことを目的として外部から使用される化学物質である。しかしその一方で、農薬は広範囲に散布された後、農地排水を通じて環境中に流出し、飲料水、土壌、農作物、空気などを汚染し、人の健康や生態系へ有害な影響を引き起こす可能性がある。

一方、琵琶湖は日本最大の湖であり、近畿地方に住む1400万人の貴重な水資源であることから、その水質保全是重要な課題である。現在、琵琶湖への汚濁負荷源のひとつとして問題にされているのが、琵琶湖集水域の約17%を占める農地であり、さらにその92%を占める水田である。また水質汚濁物質のひとつに挙げられているのが、水田で散布される農薬である。農薬は自然環境中にほとんど存在しない人工化学物質であり、使用目的である除草や殺虫、殺菌作用の後、速やかに人畜無害な形にまで分解することが望ましいが、実際には環境中に残留し広く影響を及ぼす。

このような状況を受け滋賀県は、「滋賀県環境こだわり農業推進条例」を制定することにより、「環境保全型農業」を推進し、琵琶湖への農薬の流出削減をはかっている。しかしながら、これらの農法では、散布農薬の成分削減を実施基準とする場合が多いため、少ない成分でより高い効果を追求することになり、その結果、散布農薬が特定の成分に集中する事態が予想され、仮にその成分の水環境への流出特性が大きいと、かえって環境負荷増大を招く恐れがある。

そこで求められるのが農薬の水系への流出を予測するモデルの開発である。散布前に農薬の流出率を推定できれば、流出率が低く環境負荷の少ない農薬をあらかじめ選択して散布することが可能となり、それにより農薬残留による環境リスクが削減される。

本論文では、まず淀川水系、琵琶湖流入河川および琵琶湖の湖水、底質について調査を行い、農薬の残留実態を把握した。つづいて琵琶湖集水域の水田で散布される農薬のうち滋賀県内で最も出荷量の多い種類である除草剤について、琵琶湖流域全域に適用でき、しかも実際の農業現場において簡易に流出率を予測できる実用的なモデルの開発を行なった。さらに同モデルの汎用性について、モデル構築時とは異なる物性を持つ除草剤への適用、および琵琶湖

流入河川である白鳥川の最下流地点で実施した詳細な調査結果を用い、様々な土壌タイプが混在する河川流域レベルでの、同モデルの適用性を検証した。

## 2) 琵琶湖および淀川水系における農薬残留

1998年に発表された「内分泌攪乱作用を有すると疑われる化学物質」では、リストアップされた65項目のうち、実に44項目が農薬であったことから、内分泌かく乱作用が疑われる農薬による環境汚染について懸念が広がっている。そこで、これらの農薬をはじめとした様々な農薬の汚染状況を把握するため、琵琶湖淀川水系を中心とした河川水と下水処理場排水および水道水、琵琶湖流入河川である野洲川水系河川水および水道水、さらに琵琶湖の表層水質および底質中の農薬残留について調査を行なった。

その結果、琵琶湖水と琵琶湖から流れ出す淀川水系河川水、およびこれらから取水している水道水中に農薬が広く残留していることが明らかとなった。

野洲川水系の調査地点のうち、水口浄水場とその原水である横田橋における農薬濃度の季節変動をFig.1に示す。

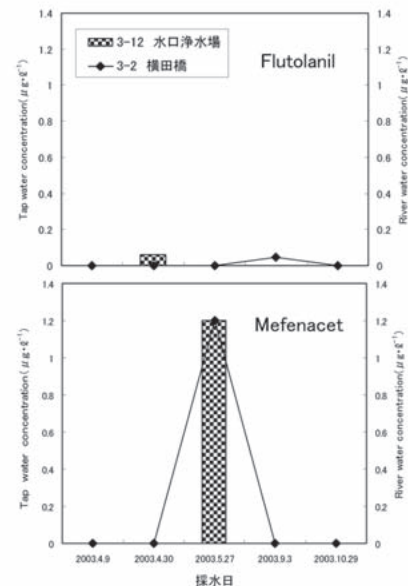


Fig.1 Seasonal change in agricultural chemicals concentration

## 3) 琵琶湖集水域内水田群における除草剤流出率予測簡易モデルの開発

琵琶湖流入河川である白鳥川流域のA水田群(水田面積40.5ha、グライ土)において、2005年と2006年

の5～10月に9種類の除草剤 Daimuron (Dai)、Bromobutide (Bro)、Esprocarb (Esp)、Simetryn (Sim)、Benfuresate (Ben)、Pretilachlor (Pre)、Mefenacet (Mef)、Thenylchlor (The)、Cafenstrole (Caf) の散布量、流出濃度、流出量を精度高く調査した。

調査地区における散布農薬の種類、散布日、散布量はJAトレーサビリティシステムの栽培管理日誌を集計した。農薬の使用実態が把握できた水田面積は、作付け面積に対して2005年は89%、2006年は95%であった。

2005、2006年5～7月の除草剤の流出率はそれぞれ、Daimuronが26.3%、36.5%、Bromobutideが24.5%、30.8%、Simetrynが21.5%、18.6%、Benfuresateが15.7%、9.30%、Pretilachlorが9.14%、11.3%、Mefenacetが5.49%、5.33%、Esprocarbが0.32%、0.84%で、Thenylchlor、Cafenstroleは2005年にそれぞれ5.52%、4.74%であり、いずれも既報とほぼ同程度であった。また水溶解度が大きい除草剤の流出率は比較的大きかったが、水溶解度が低い農薬でも流出率が大きい場合があった (Fig.2)。

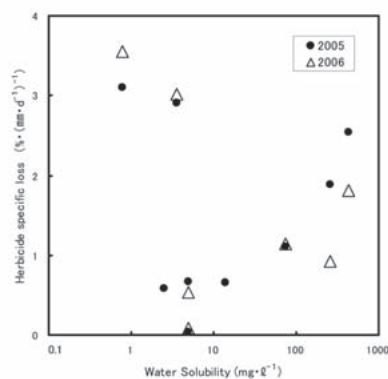


Fig. 2 Relationship between herbicide specific loss and water solubility

調査結果を基にして、除草剤の流出率予測簡易モデル式の開発を行った。調査年度による流出水量の差を標準化するため日平均晴天時流出高で流出率を除して求めた比流出率 ( $R_s$ ) を目的変数とし、水溶解度 ( $W_s$ )、日平均晴天時流出高、有機炭素含率で補正した土壤吸着定数 ( $K_{oc}$ )、およびヘンリー則定数 ( $K_{aw}$ ) を説明変数とした重回帰式を求めた。得られたモデル式を (1) 式に、同式より求めた実測値と予測値の関係を Fig.3 に示す。

$$\begin{aligned}
 \text{水田除草剤の比流出率 } [R_s] \\
 = & 4.07 - 1.84[\log K_{oc}] - 0.418[\log K_{aw}] \\
 & + 0.141[\log W_s] \quad (1)
 \end{aligned}$$

9種類の除草剤のうち、予測値と実測値の差は4種類で±0.5%以内、他の5種類もほぼ±1.0%以内

であったことから、流出率予測モデル式としてこれらの説明変数を用いた重回帰式を適用することが可能であることが明らかとなった。

また得られたモデル式より、水溶解度の低い農薬でも流出率が大きくなる現象を精度良く再現することができた。モデル式の係数を解析したところ、流出率に最も大きく寄与する物性値は、土壤吸着平衡定数であった。

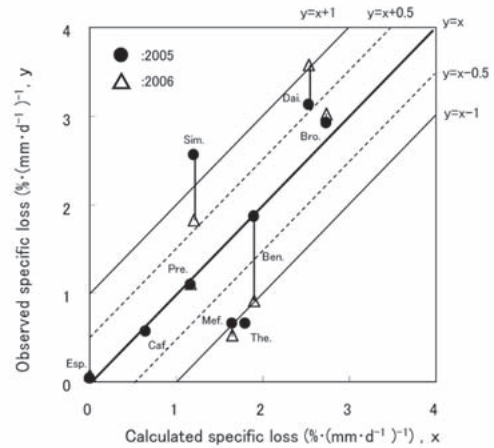


Fig.3 Relationship between observed specific loss and calculated specific loss

#### 4) 琵琶湖流域全域に適用可能な除草剤流出率予測簡易モデルの構築

前章で求めた流出率予測モデルの考え方を基本にして、琵琶湖集水域の全流域に適用できる汎用性の高いモデルの構築を行なうことをめざした。そこで、2002～2003年に調査された4水田群 (B-1,B-2,D,E) に加え、2005～2006年に著者らが中心となって調査・解析を行なった3水田群 (A,C,F) の計7水田群 (4.5～40.5ha) で得た除草剤の流出率、および水田群ごとに実測した土壤吸着定数のデータを基に重回帰分析を行った。調査地点の位置を Fig.4 に示す。

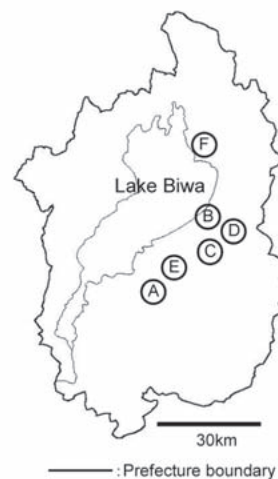


Fig.4 Location of observed sites

対象とする除草剤は Pretilachlor (Pre)、Cafenstrole (Caf)、Daimuron (Dai)、Esprocarb (Esp)、Simetryn (Sim)、Mefenacet (Mef)、Bromobutide (Bro)、Molinate (Mol)、Dimepiperate(Dime)、Fentrazamid (Fen)、Thiobencarb (Thi)、Benfuresate (Ben) の13種類とした。

7水田群全てを一括して重回帰分析した場合は、実測値と予測値の相関がやや弱かったが、土壤吸着定数の違いに基づいて、水田群を褐色低地土・灰色低地土とグライ土の二群に分けて重回帰分析を行うと、より良好な相関関係（褐色低地土・灰色低地土 R =0.70、グライ土 R =0.68）が得られた。土壤群ごとのモデル式を (2) 式と (3) 式に、実測値と予測値の関係を Fig.5 に示す。

褐色低地土・灰色低地土群の水田除草剤の

比流出率  $[R_s (B/GR)]$

$$=6.23 - 2.67[\log K_{oc}] - 0.201[\log K_{aw}] + 0.170[\log W_s] \quad (2)$$

グライ土群の水田除草剤の比流出率  $[R_s (GL)]$

$$=3.47 - 1.35[\log K_{oc}] - 0.231[\log K_{aw}] + 0.122[\log W_s] \quad (3)$$

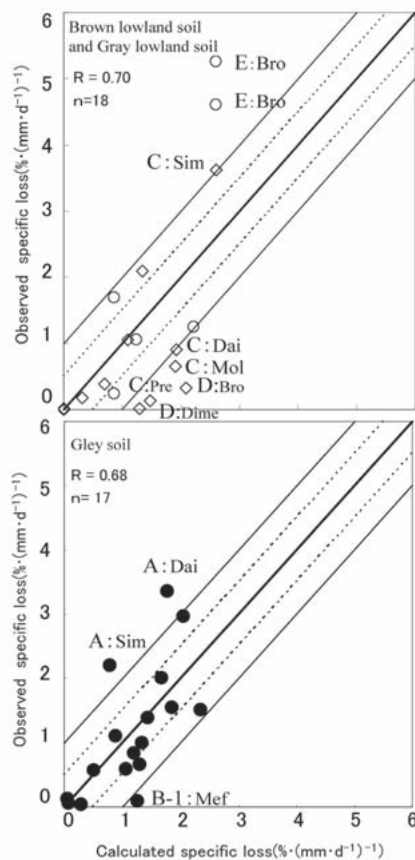


Fig.5 Relationship between observed specific loss and calculated specific loss in Brown and Gray lowland soil group and Gley soil group

モデル式の係数を解析したところ、流出率に最も大きく寄与する物性値は、いずれの土壤群でも、やはり土壤吸着平衡定数であった。

### 5) 除草剤流出率予測簡易モデルの検証

#### 5) - 1 物性の異なる除草剤への除草剤流出率予測簡易モデルの適用

前章で構築したモデルの検証を行った。

まず琵琶湖集水域内の M 水田群（水田面積 7.4ha、グライ土）において、モデル設定時に用いた除草剤とは物性値が異なる 9 種類の除草剤 Daimuron (Dai)、Cafenstrole (Caf)、Imazosulfuron (Ima)、Cumyluron (Cum)、Cyclosulfamuron (Cyc)、Fentrazamide (Fen)、Oxaziclomefone (Oxa)、Benzobicyclon (Ben)、Pentoxazone (Pen) で、モデル式による計算値と実測値の流出率を比較した。得られた実測値と予測値の関係を Fig.6 に示す。

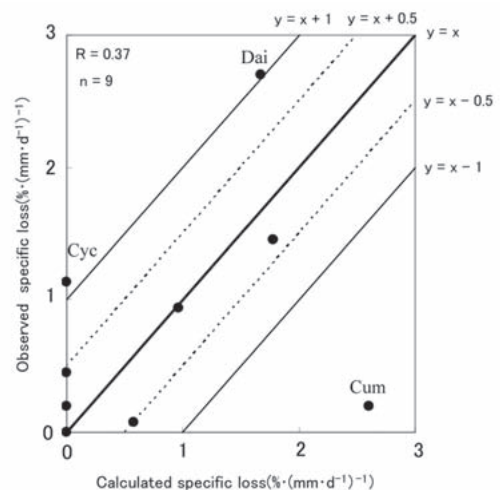


Fig.6 Relationship between observed specific loss and calculated specific loss

その結果、モデル式構築時に用いた除草剤と物性値 ( $K_{aw}$  または  $K_{oc}$ ) が大きく異なる 3 種類の除草剤 Cumyluron、Daimuron、Cyclosulfamuron を除いた場合に、良好な相関関係 ( $R =0.88$ ) を得ることができた。

#### 5) - 2 白鳥川流域レベルへの除草剤流出率予測簡易モデルの適用

次に、種々の水田土壌タイプが混在する白鳥川流域（本流総延長約 20km、流域面積 34.1km<sup>2</sup>、水田面積 14.3km<sup>2</sup>、水田占有率 42%、近江八幡市と東近江市 44 町を含む）において、モデルの検証を行った。採水は琵琶湖からの逆水の影響のない流域末端地点 S で行なった。調査地点の概要を Fig.7 に示す。

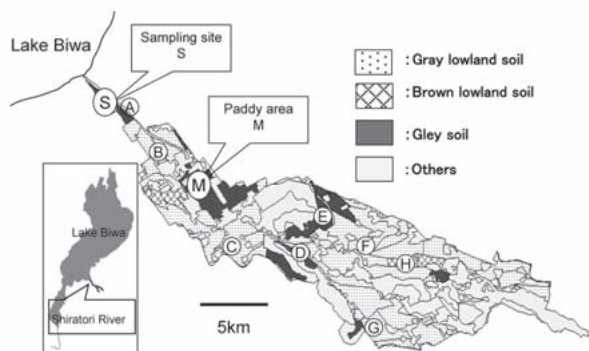


Fig.7 Location of observed sites

2006年の除草剤の濃度変動と散布量を Fig.8 に示した。図中で上から伸びた棒グラフが散布量をあらわす。濃度ピークは散布時に対応してみられた。なお移植は大部分の水田で4月下旬から5月中旬にかけて行われたので、同じ除草剤でも散布時期に1～2週間前後の幅が生じた。

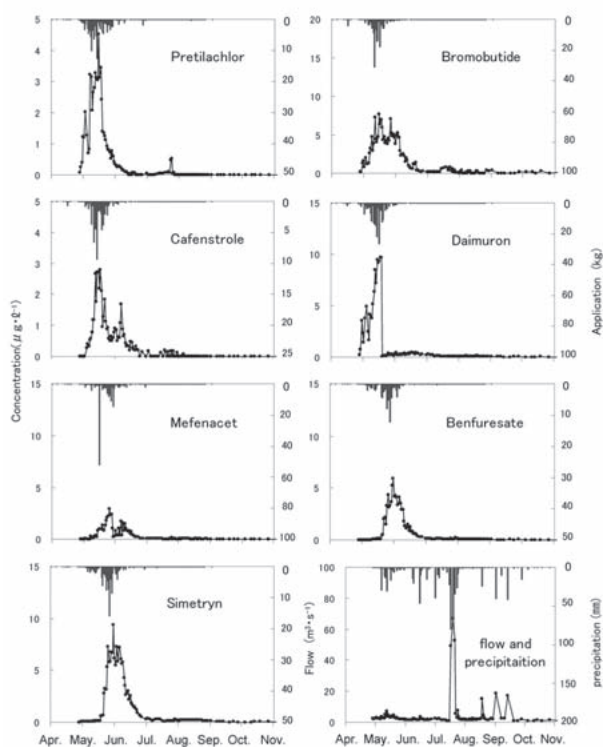


Fig.8 Seasonal change in herbicide concentration, application, flow and precipitation in 2006 (Shiratori river)

流出率の計算は町単位（44町）で行い、その合計を流域末端の流出率とした。散布量調査の把握率は70%、晴天時流出高は灌漑用水別に5ブロックで分割した概算値を適用した。これを、2005、2006年の2年間、7種類の水田除草剤

Daimuron (Dai)、Bromobutide (Bro)、Simetryn (Sim)、Benfuresate (Ben)、Pretilachlor (Pre)、Mefenacet (Mef)、Cafenstrole (Caf) についての詳細な調査に基づく実測値と比較した。その結果、調査対象とした7種類の除草剤のうち、5種類の除草剤で高い相関係数 ( $R = 0.71$ ) が得られた。

このことから、同モデルは河川流域レベルでも十分適用できることが明らかとなった。

## 6) まとめ

以上の結果より、同モデルは琵琶湖集水域の全流域において適用でき、農業による環境リスクの低減に寄与することが可能であると考えられた。

また、水田除草剤の流出性には土壤吸着性が最も重要な物性であることが明らかとなった。

さらに、同モデルは従来のモデルと比較して、パラメーターが4つと少なく極めて簡易であり、しかもそのうち2つ（水溶解度、ヘンリー則定数）は文献値である。また残りの2つ（日平均晴天時流出高、土壤吸着定数）は、対象地域の特性を反映しており、農業現場のレベルでも十分実用可能なモデルであると考えられた。

今後、その適用範囲を琵琶湖流域から日本全国へ拡大させ、また農業の種類も水田除草剤から一般除草剤、殺虫剤、殺菌剤へと広げることにより、環境全体への農業による残留汚染や負荷を減少させ、ひいては生態系および人体への影響を低減できるものとする。

# 西安旧城・回族居住地区の空間構成とその変容に関する研究

川井 操

環境計画学専攻

## 0. 序章

### 0-1 研究の目的と背景

本論文は、西安旧城における回族居住地区を対象とし、その空間構成と居住特性およびその変容について明らかにすることを目的としている。

西安は、中国七大古都のひとつであり、1077年間、鯨京、咸陽、長安など歴代王朝の王都として存在してきた。中でも、隋唐長安城は、グリッドプランで構成され、「座北朝南」、東西対称、中軸線といった配置構造の特質を持つ中国史上において最大規模の都城であった。また、本論文が対象とする旧城地区は、明代に隋唐長安城の皇城を基に建設され、その城壁は現在も残っている。西安は、明代の城壁を残している中国唯一の都市である。一方で、旧城内には、中国でイスラーム（伊斯蘭）を信仰する少数民族・回族が居住区を構えており、各街区には複数の清真寺や民族固有の商店である清真店が立地し、強い民族意識を支えている。そして、回族居住地区を含む一帯は歴史保存地区に指定されている（図1）。

本論文が大きくテーマとするのは、「中国都市の構成原理」と「イスラーム都市」の構成原理の関係である。具体的には、まず西安旧城の構成原理とその変容について考察した上で、臨地調査をもとに、回族居住地区の街路の形成過程、清真寺を中心とする自治組織の実態、四合院の変容、漢族と回族の居住空間の共通点と相違点を明らかにする。

## 1. 西安旧城の構成原理とその変容

天祐元年（904年）、朱全忠主導のもと、洛陽への遷都が行われ、長安城内の住民は移住を強いられ、宮殿や住居のほとんどが移築あるいは破壊された。以後、長安は政治、経済、文化的地位を失い

一地方都市となる。明代（1368～1636年）において、「西安府城」（1369年）。洪武7年（1374年）に西北部の政治・軍事面の強化により、北東に既存から1/4、総面積で1/3拡大され、現在の西安旧城が形成された。

明代以降の歴史地図資料の中で、光緒19年（1893）の「西安府城」の測絵図には、都市施設、坊、街路名称、等が詳細に描かれており、現在の都市空間と比較する上でも貴重な資料とされる（図2）。

清代の「西安府城」内は、「満城」、「南城」があり、さらに東西南北には4基の関城がある。「満城」は、満州八旗が駐屯する城壁都市である。一般的に「満城」と呼ばれていたが、正式には「満州八旗城」と称し、首都である北京以外は「満州八旗城」と呼ばれた。主要な「満城」の中で、西安は北京に次ぐ14里6分の周長であり、建設年代も順治2年（1645年）と盛京（1631年）、北京（1644年）に次いで早く、清朝西北部の直轄地と藩部の境界線を管轄する重要軍事施設であった。

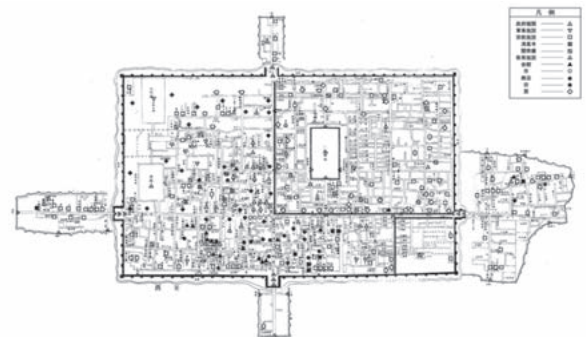


図2 光緒19年(1893)の「西安府城」の測絵図

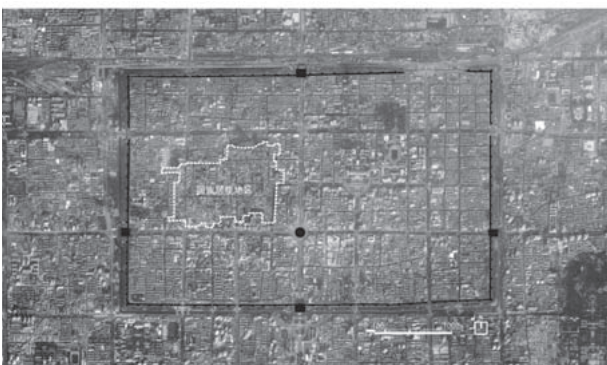


図1 西安旧城・回族居住地区

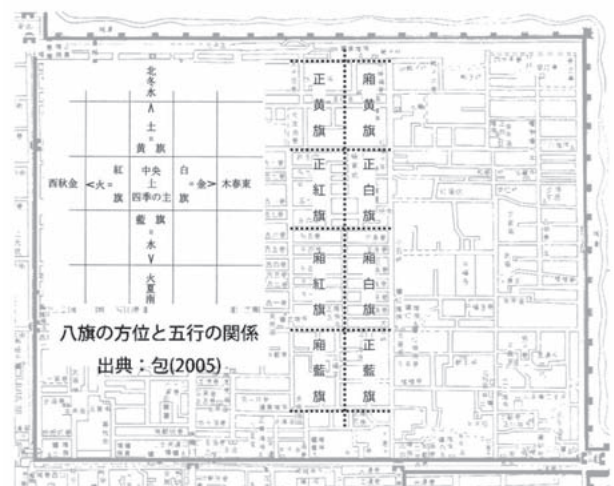


図3 西安府城「満城」八旗の配置

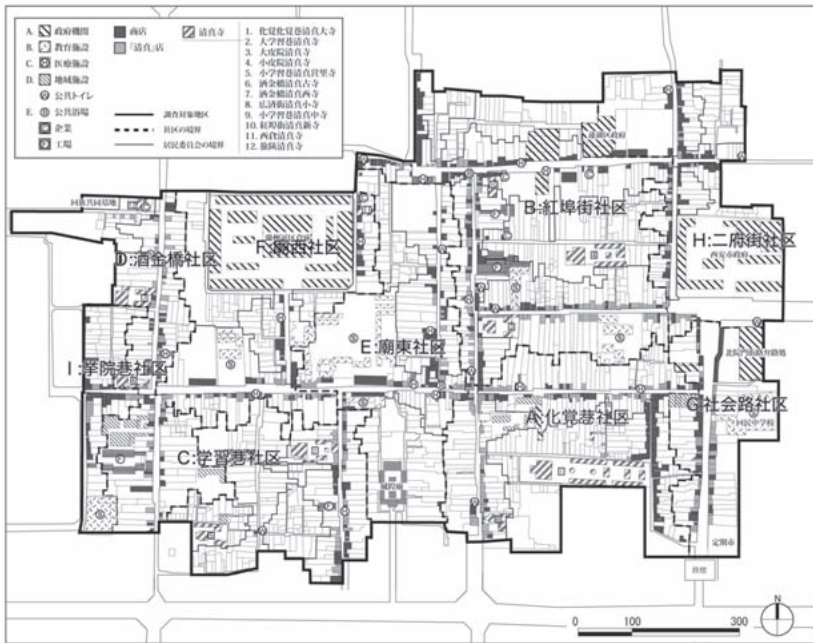


図4 諸施設の分布

八旗の組織構成について、1601年に太祖ヌルハチによって満州の伝統的な部落組織を基盤にして黄・白・紅・藍(黒)の4旗軍が編成された。1614年には廂黄旗、廂白旗、廂紅旗、廂藍旗が増設され、八旗に拡大された。八旗は左翼、右翼で分けられ、左翼には廂黄旗、正白旗、廂白旗、正藍旗が、右翼には廂黄旗、正紅旗、廂紅旗、廂藍旗が属した。八旗は軍隊組織のみならず、すべての満州人がいずれかの旗に編入され、社会管理もこの組織によって行われた。

八旗の中では、廂黄旗、正黄旗、正白旗の地位が高く、上三旗と呼ばれ、それに対して、廂白旗、正紅旗、廂紅旗、正藍旗、廂藍旗は下五旗と呼ばれた。空間上のヒエラルキーとして、北東部が上位とされ、上三旗を城内の北と東に配置した。「西安府城」の「満城」の配置を確認すると、八旗の計画理念と同様の配置構造をとっており、長安城のみならず西安旧城においても計画理念がグリッド上に反映されたのがわかる(図3)。

## 2. 社区構成と街路体系

### 2-1 西安旧城・回族居住地区の概要

唐代(618~907)にイスラームが誕生するとまもなく、西安に伝えられたことがわかっている。また、安史の乱(755)平定後、その功績により一部の兵が長安城内に残り、政府から「住唐(永住)」権が与えられ、さらに中国人女性との婚姻、清真寺の建設が認められたとされる。

元代(1279~1368)において、ムスリムは「回回人」あるいは「回民」と呼ばれるようになる。陝西省では3年の間で9565戸の新たな住戸が設けられたと

される。

明代(1368~1644)において、城内には複数の清真寺が建立され、現在の回族居住地区に多くの「回回人」が移住した。また、陝西省一帯はイスラームの教育機関としても重要な役割を持ち、中国イスラーム文化の発信地となり、各地に優秀な人材を送り、様々な学派を生み出した。

清代(1644~1911)において、西安旧城内の「回民」は次第にはっきりとした明確な居住区域を形成し、「七寺十三坊」、もしくは「八寺在東倉(南城)」と呼ばれた。

### 2-2 社区の構成

現在、回族居住地区は9社区に区分されている(図2-3)。そのうち、回族の人口が多数を占める「社区」は、A、B、C、Dの4社区である。主に漢族が居住する社区はE、F、G、H、Iの5社区である。

施設分布について、主要施設である清真寺は12座が確認できる(図4)。各清真寺の名前には、主入口と対応する街路名称が用いられている。また、建物に近接した女性専用の清真女寺が設けられている。

各社区にある清真寺は、回族社区では、A社区2、B社区3、C社区3、D社区3、の11座である。一方、漢族社区ではF社区に1座の清真寺がある。これは、新たな宗派の創設、あるいは回族人口が増えたためであると考えられる。

また、清真寺周辺では、行政機関である社区とは異なる体系で清真寺を中心とした自治組織「哲瑪堤ジャマーアティ」が存在する。1930年代の「哲瑪堤」について、馬延章(1935)が、各清真寺が管轄する街路名称と信徒数を記載している(図5)。当時の管轄が各街路の両側町で構成されるとすると、各清

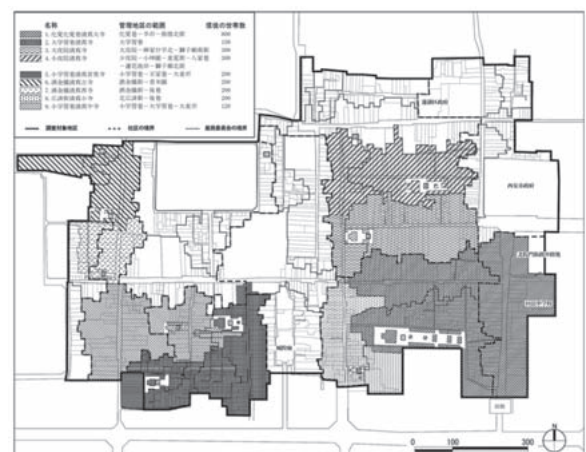


図5 1930年代の「哲瑪堤」

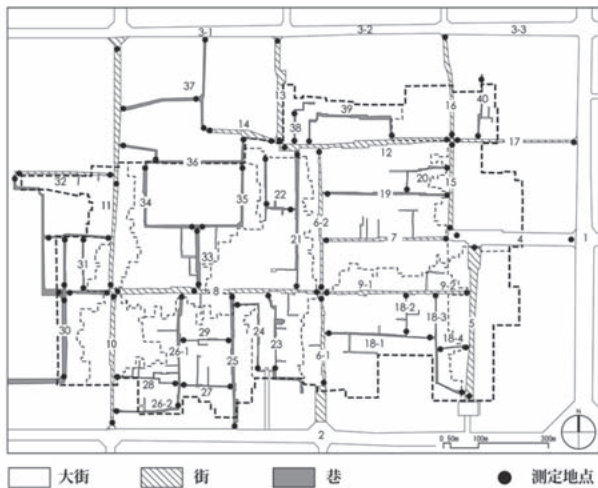


図6 街路体系

真寺の信徒数と管轄区域の規模がある程度比例するといえる。現在の社区構成と比較すると、北院門、新寺院巷など一部は漢族社区と重なるが、その他は回族社区とある程度の重なりを確認できる。このように「哲瑪堤」を基にして、社区あるいは居民委員会が形成されたと推測できる。

### 2-3 街路体系とその変遷

回族居住地区とその周辺の街路は一見複雑であるが、街路そのものは基本的に3つのレベルに分けて考えることができる。第一は、地区を囲む各城門から延びる主要街路である（大街）。第二は、そこから分岐し主要街路同士を結ぶ街路で、これらによって全体は街区へと細分化される（街）。さらに第三は、街区の内部に分岐する街路である（巷）。街路のヒエラルキーは、大街、街、巷となり、この順によって規模は小さくなっていく（図6）。その他に、街区内部へのアプローチとなる袋小路がある。

清真寺と街路の関係を確認すると、「街」に一面するのは3、8、10、「街」と「巷」に二面するのは6、7、「巷」に一面するのは1、2、4、5、9、11、12、の清真寺である。巷が形成されたのが清代であるとする、1~8までの清真寺が街路形成に影響を与えたと考えられる。

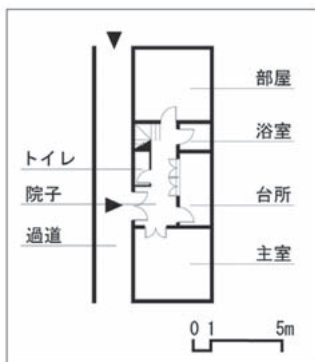


図7 住居の基本型

### 3. 住居類型とその変容

現在、回族居住地区では、各住居の平面構成は、建物が分割され、共有部分が多く、敷地の所有関係が不明確な住居と、敷地の所有関係が明確な住居の大きくは2つに分けて考えられる。

分棟型は、際立った

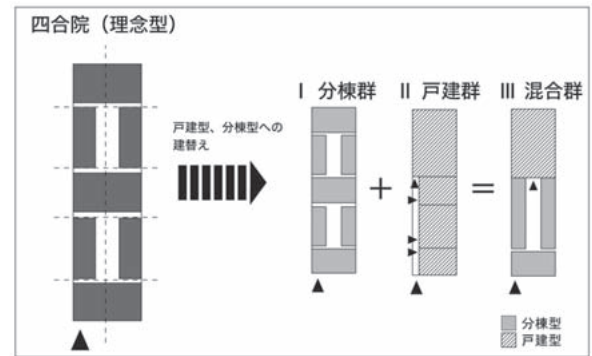


図8 住居群の類型

特徴は見られないが、各住居平面の配置に着目すると、四合院の平面形態を踏襲して建替えられているといえる。一方、戸建型の中では、いくつかの共通した要素を持つ住居を確認できる。基本的な構成について、以下のような特徴を挙げられる（基本型、図7）。

- ① 院子が設けられ、院子を介して各個室へと繋がる。
- ② 院子には、外階段があり、間口2間の極小空間ではその下にトイレや浴室がある場合を多く確認できる。
- ③ 入口に門が設けられている。
- ④ 院子を囲む各部屋は主に、主室、個室、トイレ、風呂、台所で構成されている。

回族居住地区の住居変容は、四合院を理想型として、人口増加の建て詰まりによる土地および建物の分割、統合により進行したと考えられる。

続いて、宅地内部を構成する住居群は以下のように分類できる（図8）。

- I. 分棟群：分棟型で構成される住居群
- II. 戸建群：戸建型で構成される住居群
- III. 混合群：分棟型と戸建型で構成される住居群

## 4. 棲み分けの特性

### 4-1 棲み分けの分布

棲み分けについて、宅地単位で確認すると、漢族地区が93筆で宅地面積の平均は351.5㎡、回族と漢族が混住する「回族・漢族」地区が132筆で宅地面積の平均は575.3㎡、回族地区が1373筆で宅地面積の平均は313.9㎡であり、「回族・漢族」地区の宅地面積はその他に比べて200㎡以上大きい（図9）。

### 4-2 住居類型の分布

回族地区あるいは漢族地区、さらに「漢族・回族」地区において、その住居類型を確認すると、漢族地区はIが40、IIが50、IIIが6である（図10）。「回族・漢族」はIが56、IIが45、IIIが29である。回族地区はIが302、IIが818、IIIが253である。漢族地区と回族地区の住居形態を比較すると、漢族はIの割合が飛躍的に高い。「回族・漢族」地区についても、IがIIより



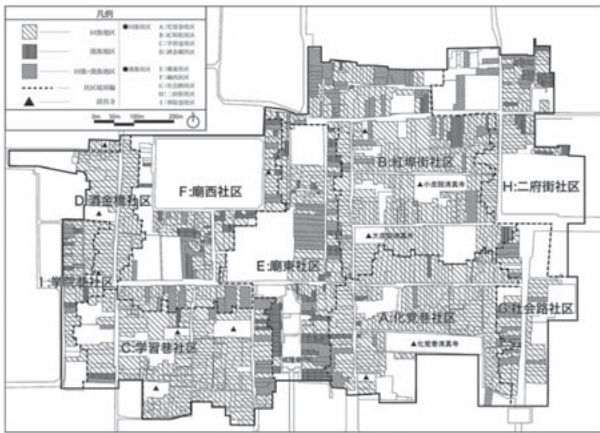


図9 棲み分けの分布



図10 住居類型の分布



図11 所有形態の分布

11筆多く確認できる。これは、回族が宅地内において、四合院住居から戸建型に建て替えをおこなっているのに対し、一部の漢族は大幅な建て替えを行わず、四合院の型を踏襲した分棟型に居住する。

#### 4-3 所有形態の分布

所有形態の組み合わせによって以下のように分類できる。

- a. 持家型：持家住居で構成される宅地
- b. 賃貸型：賃貸住居で構成される宅地
- c. (持家+賃貸)型：持家住居と賃貸住居で構成される宅地

現地ヒアリング調査によって、834筆の宅地内における住居群の所有形態を明らかにした(図11)。所有形態の分布を確認すると、aが714筆、bが111筆、cが9筆であり、全体の85.6%をaが占める。

各所有形態における棲み分けの分布を確認すると、aについて回族地区が608筆、漢族地区が47筆、「回族・漢族」地区が59筆であり、回族地区が全体の85%を占めている(図4-4)。bについて回族地区が64筆、漢族地区が21筆、「回族・漢族」地区が26筆であり、賃貸型の半数以上に漢族が住んでいる。

各所有形態における住居形態を確認すると、aにおいては、Iが155筆、IIが308筆、IIIが234筆である。bにおいては、Iが28筆、IIが35筆、IIIが27筆であり、aと比較して分棟群の割合が高いのがわかる。現地でのヒアリング調査によると、貧困層の漢族が賃貸型の四合院形式の住居で居住するのに対し、回族は地区内の商売で繁栄し、比較的裕福な家族が多く、既存の四合院を壊し、新たな持家の戸建型に居住する傾向がある。

## 5. 結章

本論文が明らかにした知見をまとめると、以下のようなになる。

1. 回族居住地区において、中心となる化覺巷清真大寺から、鼓楼に向かって、街路が形成される。その他にも清真寺へと繋がる「巷」には、清真寺あるいは周辺に多く集住する姓の名称が用いられ、一様に歪んだ街路形態を持つが、最初にモスクすなわち清真寺が配置され、その後街路が形成される手法は「イスラーム都市」と共通する。
2. 回族が経営する清真店「牛羊肉店」に着目すると、大皮院清真寺と北広濟街清真寺の周辺に若干数確認できるものの、その他の清真寺周辺にはほとんど確認できない。
3. 「イスラーム都市」における都市構成要素の1つの特徴として、スークすなわち市場があり、独特なアーケード街が形成される点が挙げられる。回族居住地区においても、鼓楼を北に抜けた東側の広場に定期市が催され、西側には化覺巷清真大寺へと繋がる土産物売の簡易なアーチ状のアーケード街が確認できる。
4. 回族の自治組織である各清真寺に設置される「清真寺民主管理委員会」によって運営される「哲瑪堤」があるが、1930代における各清真寺の「哲瑪堤」の管轄範囲は、現在の民族間の社区範囲と重なっている。

5. 住居は大きくは四合院の平面構成を踏襲する分棟型と新築された戸建型に分けられる。さらに、宅地単位で確認すると、以上の住居が混在しており、戸建群、分棟群、戸建型と分棟型が共存する混合群に分けられる。
6. 回族が戸建群に居住し、漢族が分棟群に居住する割合が高い。また、回族は持家が多いのに対し、漢族は賃貸である場合が多い。これは、回族の血縁による集団居住の特性を示しているが、宅地内に複数の戸建住居が混在する主な要因は、家族間で土地分配が行われているためである。

# メコン中流域におけるタイ・ラオ族の住居集落形態とその変容に関する研究

チャンタニー チランタナット

環境計画学専攻

## 序章

### 研究の目的と背景

本研究は、メコン中流域の各地に立地するタイ・ラオ族の集落・住居を対象とし、その空間構成と居住の実態、さらにその変容過程を明らかにすること、特に住居類型とその変容について明らかにすることを目的としている。

本研究では、中国の雲南省からミャンマーとラオスの国境、北部タイと北部ラオスの国境までを「上流域」、ラオスのルアンパバーンからラオス中部のセ・バンヘイン川までを「中流域」、その南を「下流域」あるいはメコン・デルタとする。

東南アジア大陸部に位置するタイ王国とラオス人民民主共和国(以後ラオス)には、タイ系諸族が居住している。ラオスのルアンパバーンを中心に栄えたラーンサーン王国の末裔であるラオ族はタイ系諸族であり、もともとメコン河の両岸に居住していたが、インドシナ植民地を建設したフランスが1893年にメコン河に設定した国境によって居住領域を2つに分断され、現在に至っている。一般的に「タイ・ラオ族」とは、メコン河を挟んで東北タイとラオスに住むタイ系諸族(名称は様々であるが、タイ・カダイ族の亜族とされる)を意味する。本研究では、西岸に居住するタイ系諸族も、東岸に居住するタイ系諸族も「タイ・ラオ族」と呼ぶことにする。

タイ系諸族は、7世紀から13世紀末までにインドシナ半島に大規模に移住してきたと考えられているが、現在では、主に、ブラフマプトラ流域(インド)、

サルウィン流域(ミャンマー)、メコン流域(中国・タイ王国・ラオス)、紅河流域(ヴェトナム)、チャプラーヤ流域(タイ王国)の5つの流域に居住している。

タイ系諸族は、稲作文化を共有するという意味で、アジア各地、また、高床文化を基本とするオーストロネシア世界ということ、さらに台湾から太平洋の島々などと様々つながりをもっている。タイ系諸族は、居住文化の地域性の問題、すなわち、共通性と地域差の問題を考える上で興味深い。タイ・ラオ族の住居集落に焦点を当てながら、他の地域との関連を明らかにすることによって、現在見られるタイ系諸族(タイ・ラオ族)の住居集落がどのように発展変化してきたかを明らかにすることは、アジアの住居集落研究に大きく寄与することができる。

## タイ系諸族の住居集落(第1章)

タイ系諸族は、東南アジアの5つの流域を中心に広い範囲に居住している。それぞれの流域に住むタイ系諸族の住居集落には、共通性ととも地域性をみることができる(表1)。

### ①社会

一般的にタイ系諸族は、仏教徒でありながら、一方アニミズムも信仰している。親族関係については様々で、父系制、母系制、双系制も存在している。

### ②集落の空間構成

タイ系諸族の集落は、一般的に精霊と仏教に関わる施設や場所を中心に、寺院、精霊の祠、住居、水

源、墓地、水田または畑によって構成される。地域によって、集落の柱、広場、村落森、モスク(南タイのようにムスリムが居住する場合)のような要素が加えられる。

住居の配置の規則は様々であるが、屋根の棟を同じ方向に向けるパターンがみられる。東西を軸にするパターン、川と平行させるパターン、屋根の棟を両方(山と川)と平行するパターン、住居の棟は寺の本堂の棟と平行に向けられるパターンが見られる。

### ③住居の形態と空間構成

屋根形態は、原型とする急勾配

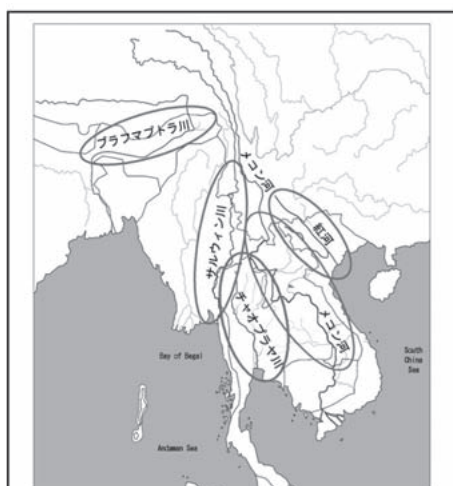


図1 5つの大河流域



図2 調査対象の位置

の入母屋以外には、切妻が多くみられる。住居は一棟で構成され、就寝空間、炉が配置される居間、屋根がある半開放的なヴェランダの3つの空間から構成される。一棟からなる原型に対して、厨房棟を別に設けて2棟（母屋棟と厨房棟）からなる住居も、多く見られる。気候の違いによって、2棟の形式が生み出されたと考えられる。

住居の形態は、地域の気候に関係がある。例えば、チャオプラヤ流域のように、蒸し暑い気候では、住居内の気温を下げるためにテラスを大きくし、小部屋を回りに配し、風通しをよくする。強風を避けるため、勾配を緩やかにする例もある。

### メコン中流域の地形

東北タイは、一般的にイサーンあるいはコーラート台地と呼ばれる。東北タイは、台地をなし、平均高度は海拔約200mで、サコンナコン盆地とコーラート盆地の2つ盆地から構成される。台地の西側にはベッチャブーン山脈が広がっており、これが東北タイとタイ中部および北部を分け隔てている。この地域には、雨季、乾季、暑季の3つ季節がある。年中暑く、乾季の平均気温は23.95℃、暑季の平均気温は28.90℃である。この地域では、洪水と干ばつ状態が繰り返される。タイ・ラオ族の集落は、基本的に灌漑池の近くに位置し、水田は雨季に行う。

一方ラオス側では、ラオスの北から南へメコン河が流れる。タイとの国境はメコン川、ヴェトナムとの国境はアンナン山脈で、国土の8割を山地と高原が占め、平地はメコン川流域のみに見られる。主な平地は2つで、ヴィエンチャン平地はヴィエンチャン地方から南にあるカムアン高地まで広がってい

る。全般に高温多湿で南部は熱帯、北部は亜熱帯気候である。モンスーンの影響を受け明確な雨季と乾季があり、年間平均気温は15-30℃程度である。地域によって気温は様々である。

### I メコン中流域のタイ・ラオ族の住居集落 バーン・ナーオウ集落(ルーイ県、タイ)(第2章)

東北タイのルーイ県の山奥のタイ・ルーイ Tai Loei 族の集落。切妻の木造高床住居が東北タイのタイ・ラオ族住居の原型とされるが、ここでは床柱をレンガ造とした住居、寄棟や入母屋の屋根形式、土壁のようなパー・トクシーと呼ばれる壁とレンガ柱が利用される建物がみられる。

寝室内は、ナー・コーン（精霊（祖霊）を祀る棚が設えられ、男性あるいは息子のスペースとして利用されている空間）、ホーン・カーン（両親の寝室）、スアム（未婚の娘の寝室）、の3種の空間を基本として、その組み合わせの中で構成されている。

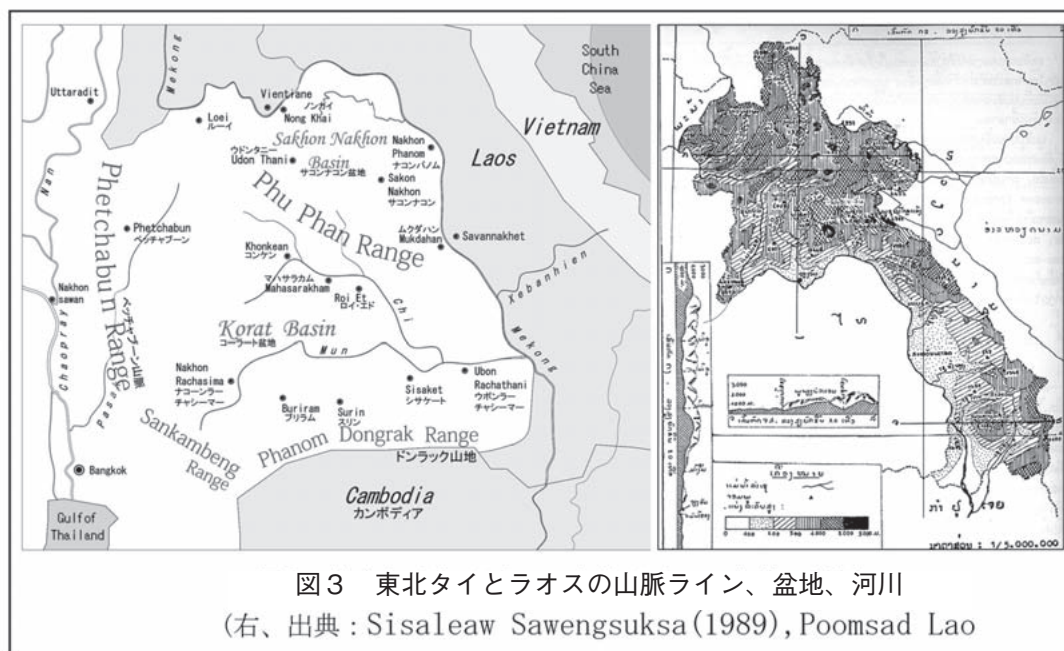
### バーン・パクシー集落(ルアンパバーン県、ラオス)(第3章)

ラオスのルアンパバーンの中部の丘に立地するラオ族の集落。一般のラオ族の集落は平地に立地するのに対して、ここでは、集落が丘に立地する。集落の中心にはラク・バーン（集落の柱）や祠（霊の祠）も存在する。また、方位観に従って、高一低の軸を清一濁（神聖一不純）に対応させて、ワットは高い位置（山の上場・上流）に、墓地は下流の集落より低い場所に配置している。

住居の屋根は主にメコン河と平行している。道から最も奥まった所に厨房棟という配置になる。母屋

は前に置かれ、厨房棟は母屋棟の裏に設けられる。住居は斜面に立地し、住居を建てるために石垣で段々を造って平らな敷地を造成している。

ここでは、方位観としては、太陽の動きに基づく絶対方位よりも、山や川など場所の自然に規定された方



位観に大きな影響を受けていることが指摘さる。バーン・パクシー集落では、山側を上位、低地を下位とする。また、上流を上位、下流を下位とする。

住居は基本的に高床式で、切妻の屋根を持ち、母屋棟と厨房棟2つの棟から構成される。母屋棟は道路に近い方に、厨房棟はその奥に配置される。母屋棟は、ハーン（前室）と寝室によって構成される。基本的に家族以外に寝室に入ることは禁じられているが、現在、こうした認識は薄れつつある。寝室内は、祀棚を設置させるところと息子の寝るスペース、親が寝るスペース、娘が寝るスペースと廊下、の4種の空間を基本として、その組み合わせによって構成されている。

#### バーン・ノンナオ集落(ムクダハン県、タイ)(第4章)

東北タイのムクダハンの平地に立地する集落。東北タイのタイ系諸族のなかで人口が少なく、約150年前にラオスからこの地域へ移住してきたタイ・カロン族の集落である。今まで注目されなかったタイ系諸族である。

集落の南東にはワットがある。集落の南側（下流

にあたる)には保護森があり、その近くには墓地がある。住民は仏教寺院で仏教儀式をおこない、宗教儀式が行われる際、保護森は住民が集う場所として使われる。

住居の配置は、日の出と日の入りの方向を考慮して決定される。住居の長手方向を東西の軸に沿って配置し、前面で隣家と接する。多くの住居は2つの建物からなる。この集落の空間構成において、東北タイのタイ・ラオ族のように方位が重要な役割を果たしている。住居の間取りは、男性に関する諸室は東側のゾーンに割り当てられ、女性に関するものは西側に計画される。この居住空間における2分法は彼らの社会の階層構造を反映している。

間取りは基本的に寝室が物理的な区切りのない開放された空間として計画されている。その後、様々な要因で様々なパターンが出現した。住居は初めから完成したものではなく、住民のニーズの変化に伴って徐々に形作られていく。間取りの構成だけでなく、屋根の形状も集落の外観に大きな影響を与える。

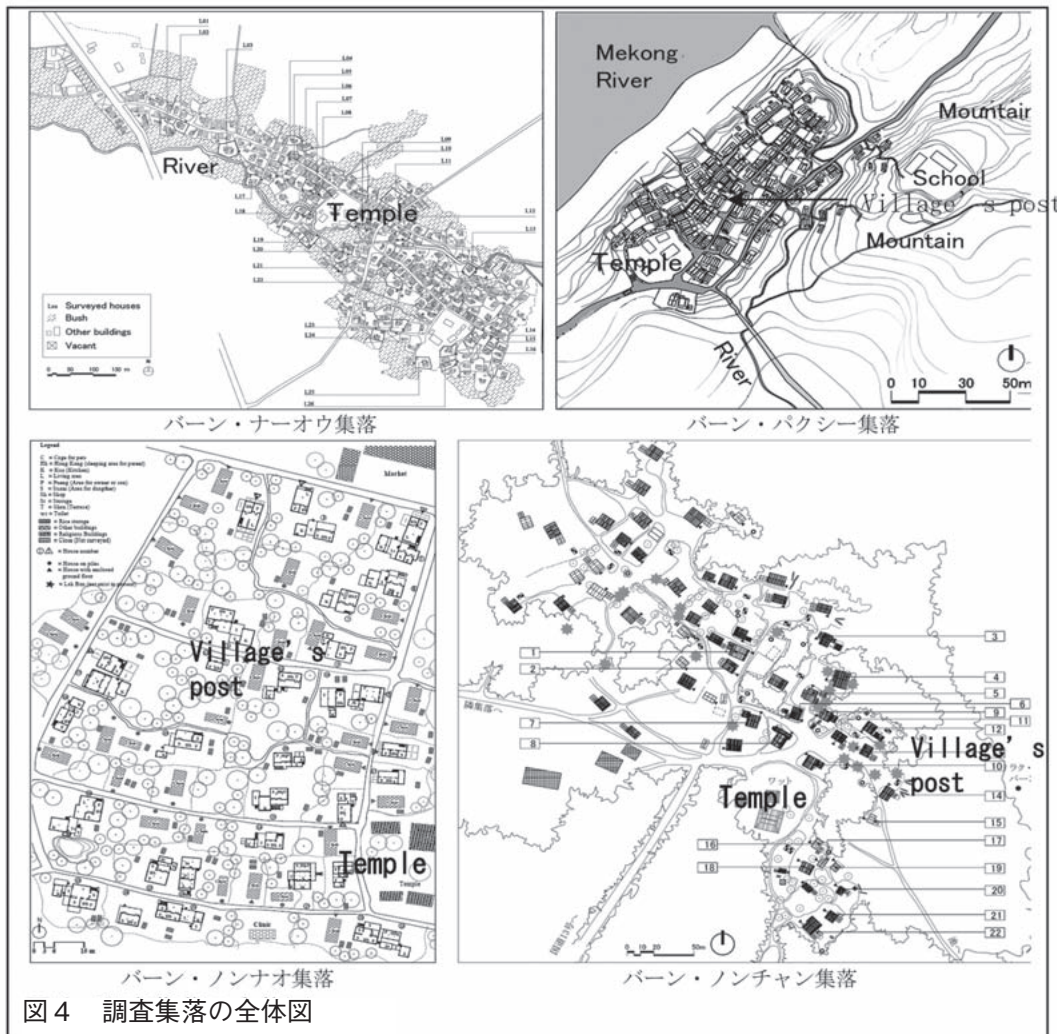


図4 調査集落の全体図

## バーン・ノンチャン集落 (カムアン県、ラオス) (第5章)

ラオスのカムアン県のカムアン高地に立地するタイ・カロン族の集落。新しい集落であり、洪水がしばしば起こる集落である。

住居集落の配置規則は、太陽の動き以外に環境の問題を乗り越えるため周りの村人に頼ることもあるため、相互関係を優先するため屋根の棟を平行に揃える考え方の影響が大きい。

住居は、2階建て、切妻屋根、高床式、平入り、埋め立て柱を利用している。母屋棟の平側は3スパンである。その3スパンには、仏像が置かれる部屋、親の就寝空間、子供の空間又は新婚夫婦の部屋の機能が配列する。住居空間のヒエラルキーは、上位と下位から構成される。

## II タイ・ラオ族の都市住居 ヴィエンチャンの街区と住居形式 (第6章)

ヴィエンチャン旧市街は、かつてシヤム軍によって街全体を滅亡され、その後、フランス植民地になったヴィエンチャン旧市街にあるタイ・ラオ族の住居およびその街区を対象とする。街区内にショップハウスも多くみられ、上述したパー・トクシーとレンガ柱がここでもみられる。



図5 ヴィエンチャン市内のショップハウスの分布



図6 ピマーイの住居の分布

ヴィエンチャンにある住居は様々なスタイルが存在しているが、ラオスの植民地期に木造以外に新たな建築技術を利用した住居に着目すると2つのグループに大きく分けられる。植民地住居は、屋根形態は入母屋と寄棟が多く、構造はレンガ造が多くみられる。ラオス風植民地住居の形式は、屋根形式は伝統的な住居の形態に似ているが、レンガ柱とパー・トクシー壁が目立つ。住居の屋根と構造の形態に着目すると、2つのタイプに分類される。

ヴィエンチャン市は、様々な影響により発展してきた。土地計画と新たな建材や建物のヨーロッパスタイルはフランスの影響で、ショップハウスや住居は初期にヴェトナム人によって建てられたものである。建築のテクニックも合わせることによってヴィエンチャン市内には様々な住居が建てられた。「パー・トクシー」と「レンガ柱」が使われるようになったのは、植民地時代からであることが分かった。

植民地期に建築されたショップハウスは旧内城壁内の北西側のエリアに最も多く残されていることが確認され、様々なタイプがあることが分かった。

## ピマーイの街区と住居形式 (第7章)

東北タイのコーラート高原の南西に位置するピマーイは、かつてクメール王朝によって建設された極めて整然とした街区パターンをしている。ピマーイ寺院は、城壁も含めてその全てが同時期に造られたわけではなく、11世紀にジャヤヴァルマンVI世(1080～1107)によって始められた造営活動は13世紀のジャヤヴァルマンVII世の時代にまで続いていたと考えられている。

ピマーイの住居形式は、道路に面して並ぶショップハウスと街区内部に立地する高床式住居の大きく二つに分類できる。高床式住居によって構成されていた街区に華人によってショップハウスが持ち込まれたことは歴史的にもはっきりしており、華人たちの住居形式とその立地の変遷から、ピマーイの変遷が明らかにできる。すなわち、クメール時代の街路体系、宅地割については不明であるが、その後、メコン河を南下してきたタイ系諸族が農業を基盤として高床式住居に生活してきた。そこに華人が移住してきてショップハウスという新たな形式を持ち込み道路沿いを占めていった。その結果、「屋敷共中結合」による親族関係を維持する高床式住居群が街区内部に残されることになった。



①メコン中流域におけるタイ・ラオ族の伝統的集落の空間構成は、仏教（寺院）と精霊（祠、街の柱、村落森）に関するヒエラルキー（聖俗）と共に、川（上流・下流）や太陽の動き（東西）、土地の高低（上下）に関するオリエンテーションが強く意識され、規定されてきた。

②メコン中流域におけるタイ・ラオ族の伝統的住居の平面構成とオリエンテーションの関係も、基本的に集落の配置パターンと共通している。また、男性および年長者を尊敬する社会習慣に基づいて、良いとされる方位に男性に関わる空間を、その反対側に女性に関わる空間を配置する。

③メコン中流域におけるタイ・ラオ族の伝統的住居の形態は、母屋棟と厨房棟の2つによって構成され、木造高床式住居である。屋根形態については、切妻以外に、切妻と半円形屋根を組み合わせる形態と入母屋と寄棟の形態もみられる。基礎は、掘立式と石基礎式に分けられる。掘立式は平地で多くみられる。石基礎は、ルアンパバーンに多くみられるものとタイ・ルーイ、ルアンパバーン、ヴィエンチャンの住居に利用される新しく導入されたレンガ柱の2つタイプがある。

④メコン中流域におけるタイ・ラオ族の伝統的住居は、祀棚がある部屋、両親の寝室、娘あるいは新婚の寝室、の3種の空間を基本的空間として、1列に配置され、それぞれ1スパンを占める。ヴェランダは、平側に配置される。

⑤メコン中流域の住居は、地域の環境（地形や気候）、近代化、都市化の進行と共に、また新たな技術の導入によって変化して来た。第1は、建築技術の導入であり、寄棟、パー・トクシー、レンガ柱の出現、また、トタン（亜鉛塗鉄板）の導入が大きな変化を及ぼした。特にトタンの導入によって屋根勾配は低くなり、集落の景観は大きく変化してきた。第2に、生活様式の変化によって、厨房の位置が変化、部屋の細分化が進行するなど、平面構成は大きく変化してきた。第3に、都市住居としてショップハウスのような新たな住居形式が導入され、集落内にも、トイレや厨房などを完備する住居

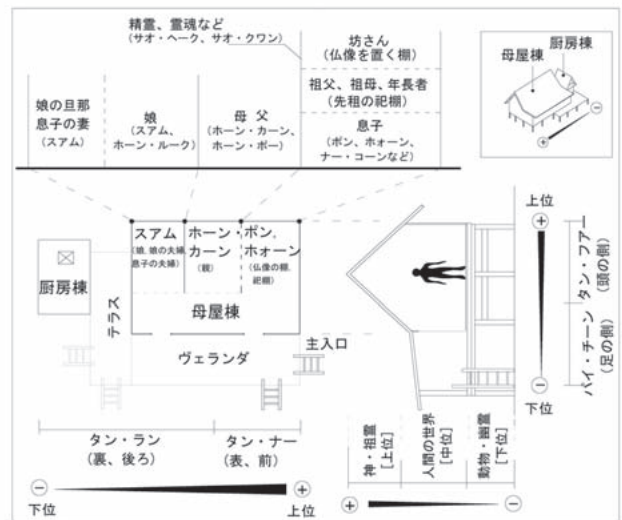


図7 メコン中流域のタイ・ラオ族の住居の空間構成とオリエンテーション

が増え、ヴェランダの役割が少なくなりつつある。

⑥タイ系諸族の住居の空間構成は、地域によって異なる。チャオプラヤ流域を除いて、それぞれ流域の上流における伝統的住居の特徴は、一棟から構成され、入母屋屋根を持ち、炬が棟内に、ヴェランダが妻側に配置されているのに対し、メコン中流域において住居の特性は、母屋棟と厨房棟の2棟から構成され、切妻屋根を持ち、ヴェランダが平側に配置される。

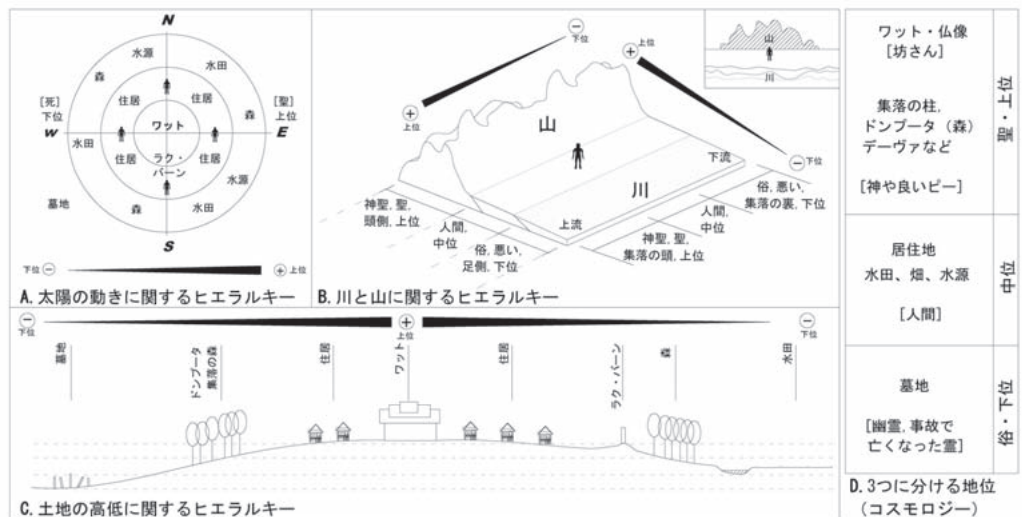


図8 メコン中流域のタイ・ラオ族の集落構成とオリエンテーションの感覚



# 社会的合意に基づく広域環境基本計画の再策定とその実施のための手法とプロセスの提案 - マザーレイク 21 計画改訂を事例として -

平山奈央子

環境計画学専攻

## 1. はじめに

琵琶湖およびその集水域では、高度成長期以降における産業の振興や土地利用と生活様式の変容などにより、環境が複合的に悪化してきた。そのため、水資源としてのみならず、独自の生態系をはぐくみ、固有の文化や景観を形成するなどの多様な価値をもつ同湖を健全な姿で次世代に引継ぐことが求められている。このような背景の中、「琵琶湖と人との共生」を基本理念として、同湖の総合保全のための長期計画として 2000 年 3 月に策定されたのが「マザーレイク 21 計画」<sup>1)</sup> (以下、ML21 計画) である。同計画は 2010 年までを第 1 期計画期間とし、同湖の総合保全の基本的方向と計画目標、対策、施策を体系的に示している。また、2011 年から始まる第 2 期を前に、同計画の見直しと再策定に向けた作業が 2008 年度から始まっている。

そのような ML21 計画であるが、同計画は多くの問題を抱えている。その中でも、筆者は、社会的合意に基づいて策定されておらず、かつ実施されていないことが最大の問題であると考え。なお本研究では、社会的合意に基づく計画を、NPO 法人合意形成マネジメント協会の定義<sup>2)</sup> を参考に、要件 1：人々の価値観が把握され、要件 2：その価値観に基づき策定され、要件 3：利害関係者に広く受け入れられた計画、と定義する。これら 3 つの要件と社会的合意に基づく計画の実施に関して、ML21 計画の問題を下記に整理する。

まず、第 1 の要件について、ML21 計画は、その計画書の中で自らが認めているように、琵琶湖の保全に対する人々の考え方 (価値観) が十分に把握されないうままに策定されたという経緯があり、この要件を満たしていない。次に、第 2 の要件についても、ML21 計画は、前述したとおり人々の価値観が十分に把握されないうままに策定されたため、当然のことながらこの要件も満たしていない。なお、第 2 期 ML21 計画の策定に向けた作業の中では、人々の価値観に基づいて計画を策定するために、ワークショップ (以下、WS) を実施し、琵琶湖の将来像を住民参画の下で作成することを試みたが、WS によって環境計画の将来像を作成するための手法はもちろん、どのように WS を設計、実施、分析、評価するかについての方法論も十分に開発されていない。続いて、第 3 の要件についても、

2008 年に実施された滋賀県政世論調査<sup>3)</sup> によれば、県民のうち ML21 計画を「名前だけは聞いたことがある」「知らない (名前も聞いたことがない)」と答えた人が 82.9% を占めたように、ほとんど認知されておらず、この要件を満たしていない。また、同計画において 2050 年頃の同湖のあるべき姿 (将来像) の 1 つとして掲げられている「昭和 30 年代の水質」は、数値的に定められたものではなく「あたかも手ですくって飲めるように清らかな」といった情緒的な表現にとどまった目標であり、「利害関係者に広く受け入れられる」という要件を満たしていない。このように、ML21 計画は、利害関係者に受け入れられる以前に、計画そのものが認知されておらず、また受け入れられるためのわかりやすい目標を設定することもできていなかった。最後に、ML21 計画は、その計画内容を社会的合意に基づいて実施するという観点からも、問題を抱えている。例えば、滋賀県は同計画の枠組みの中で、生活系汚濁負荷のさらなる発生源対策として下水処理の超高度化を検討している。しかし超高度化することに対する是非は、専門家の間でさえ費用対効果の点で意見の一致を見えておらず、その実施には更なる費用負担が住民に求められるため、利害関係者の合意を形成することが非常に難しい問題である。

以上の通り、社会的合意に基づく計画の策定および実施という観点から、ML21 計画は多くの問題を抱えている。

そこで本研究では、ML21 計画の改訂を対象として、「人々の琵琶湖の保全に対する考え方 (価値観) を把握する手法」「WS の議論内容を分析する手法」「合意形成を支援するツール」の 3 つの手法を提案するとともに、同計画の将来像の 1 つである「昭和 30 年代の水質」を客観的な数値として明らかにすること、加えて、それらの手法を用いて、社会的合意に基づいて広域環境基本計画を再策定し、実施するためのプロセスを提案することを目的とする。これによって、第 2 期 ML21 計画や各都道府県においてすでに策定されている広域環境基本計画を社会的合意に基づいて再策定し、実施するために役立つと考えられる。

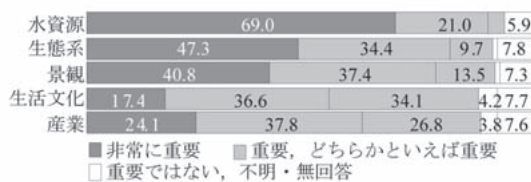
なお、本論文は全 7 章で構成されている。第 1 章では、琵琶湖の環境保全の歴史について説明し、ML21 計画の概要について紹介する。続いて第 2 章

では、同計画の問題と課題について整理し、本研究の目的と意義、研究で提案する手法の概要について述べ、最後に、本論文の全体構成についてまとめる。第3章から第7章については、これ以降の本要旨において詳しく述べることとする。

### 3. 人々の琵琶湖の価値観を把握する手法の提案

本論文の第3章では、社会的合意に基づく環境計画策定の第1要件である「人々の価値観が把握される」ために、人々の琵琶湖の保全に対する考え方（価値観）を定量的に把握する手法を提案する。同研究結果をまとめた論文は2009年度土木学会環境システム委員会<sup>4)</sup>と第13回世界湖沼会議（武漢）<sup>5)</sup>において発表済みである。

より具体的には、琵琶湖がもつ主要な機能のうち、どの機能がどのくらい重要かを人々が段階（絶対）的かつ相対的に評価したものを人々の琵琶湖の保全に対する考え方（価値観）にとらえ、まず、同湖がもつ主要な機能の重要度について、県民の段階評価を把握する。併せて、段階評価の結果を相対評価に変換する手法を開発し、適用することによって、相対評価（機能の優先順位）を把握することを試みる。

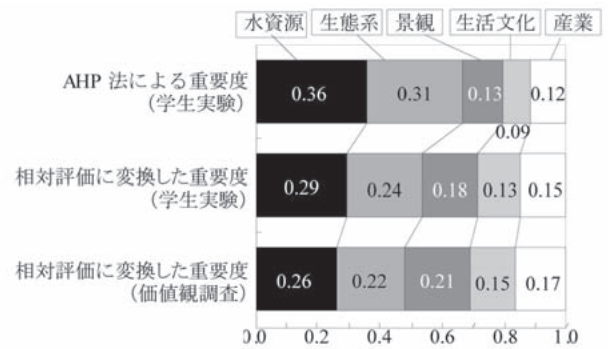


図一 1 段階評価（価値観調査）の集計結果

上記の手法のうち、まず、琵琶湖がもつ主要な機能の重要度の段階評価を把握するために、今後の琵琶湖の総合保全において重要と考えられる5つの機能（水資源、生態系、景観、生活文化、産業）の重要度を4段階で評価させる「価値観調査」を、2008年度滋賀県政世論調査<sup>3)</sup>の一部として実施した。この結果を図一1に示す。

続いて、段階評価の結果を相対評価に変換する手法を開発するために、同じく琵琶湖がもつ主要な機能の重要度について、価値観調査と同一の設問による段階評価（問A）とAHP<sup>6)</sup>の一対比較による相対評価（問B）の双方で評価させる「学生実験」を実施した。その結果から得られた段階評価と相対評価の結果間の相関関係を用いて、段階評価（問A）の結果を相対的重要度に変換した。この結果を図二に示す。

これらの結果から、全県的な世論調査によって、滋賀県民の琵琶湖がもつ主要な機能について、段階評価による重要度を把握することができた。同調査



図一 2 相対評価に変換した重要度とAHP法による重要度

の属性別のクロス集計結果に対して行ったカイ二乗検定および独立係数の結果から、同湖がもつ機能に対する上記評価は回答者の属性にはほとんど依存せず、滋賀県民の平均的な琵琶湖の保全に対する考え方（価値観）の一部を表しているものと考えられた。

また、学生実験において、琵琶湖がもつ主要な機能の重要度について段階評価と相対評価の間に良好な相関関係が成り立つことが見出された。また、同相関関係を用いることで段階評価の結果を相対評価に変換できる可能性が示唆された。さらに、得られた相関関係（変換方法）を用いて、段階評価を相対評価に変換した結果、滋賀県民は琵琶湖がもつ機能を「水資源」「生態系」「景観」「産業」「生活文化」の順により重要であると考えているものと推察された。

以上の結果から、滋賀県民の琵琶湖の保全に対する考え方（価値観）の一部ではあるが、それを把握する手法を提案することができたと考えられる。特に、世論調査のように回答者が不特定多数で、相対評価の形式での質問を設定しづらい調査においては、本研究で提案したような手法を用いて相対評価を求めることが有効であると考えられる。

### 4. ワークショップの議論内容を分析する手法の提案

本論文の第4章では、社会的合意に基づく環境計画策定の第2要件である「価値観に基づき策定する」ために、WSにおいて言及された話題の変遷を客観的に把握する手法を提案する。同研究結果をまとめた論文は2010年度土木学会環境システム委員会に査読付論文として受理され、同年10月に発表する予定である<sup>7)</sup>。

より具体的には、WS参加者の発言記録やアンケート回答結果等を分析対象とする、テキストマイニングを用いた分析方法を開発する。また、開発した方法の有効性を検証するために琵琶湖流域管理シナリオ研究<sup>8)</sup>が主催する、琵琶湖流域の将来像を住民参画の下で作成するためのWSに適用し、同

表-1 WSの目的と分析対象テキストデータ

WS	目的と分析対象テキストデータ	記号
WS1開始前	琵琶湖流域の将来像	F1
WS1 2009/ 6/11	目的: WS参加者の自己紹介や琵琶湖に対する思いなどを参加者間で共有する	
	参加者の発言記・ポストイットへの記入内容 振り返りアンケート(自由記述部分)	D1 Q1
WS2 2009/ 8/4	目的: 現地視察によって琵琶湖流域の現状や課題点を参加者間で共有する	
	情報提供資料(地域住民)	Ic2
	情報提供資料(専門家)	Is2
	地点別アンケート(自由記述部分) 振り返りアンケート(自由記述部分)	Q2
WS3 2009/ 9/24	目的: 現地視察で「気づいた見方や考え方」を参加者間で共有し、琵琶湖流域の将来像について議論する	
	情報提供(専門家)の発言記録	Is3
	参加者の発言記録 琵琶湖流域の将来像	D3
	振り返りアンケート(自由記述部分)	Q3
WS4 2009/ 11/13	目的: 2050年および2020年(第2期計画の目標年度)の琵琶湖流域の将来像について議論する	
	琵琶湖流域の将来像(第3回からの追加)	D4
	参加者の発言記録	
	情報提供(専門家)の発言記録	Is4
	振り返りアンケート(自由記述部分)	Q4
WS4終了後	琵琶湖流域の将来像	F2

WSにおいて言及された話題の変遷を数値的に把握し、可視化することを試みる。

まず、本研究で分析対象とするWSの目的と分析対象データを表-1に示す。これらのテキストデータに対してテキストマイニングを実施し、出現頻度の高い単語を共起率によってクラスターに分類する。同一のクラスターに分類された単語群が1つの話題(図-3の縦軸)を表していると仮定し、各

話題の出現数と出現率を求め、可視化したものを図-3に示す。図において、円の大きさは出現率の高さを、灰色の円は列の中(話題間)で、線の太い円は行の中(対象データ間)で出現率が特に高いことを表している。図には、各話題と各対象データにおける各対象データと各話題の出現率の平均値と変動係数を併せてそれぞれ示しており、特に値が高いセルは黒色で、特に低いセルは灰色で示している。

図に示す通り、全プログラム通して言及された話題の変化を可視化することができた。例えば、図の下表に示すように、WS中の議論(D1、D3、D4)毎の出現率の変動係数はそれぞれ0.97、0.79、1.06であった。変動係数が大きいことは、出現率のバラつきが大きく、議論(言及)が特定の話題に集中していたことを意味することから、初めWS1では特定の話題に言及が集中していたが、WS2(現地視察)において様々な情報提供を受けたことでWS3では話題が拡散し、それがWS4で将来像を議論する中で再び特定の話題に集中(収束)していったものと考えられる。また、データ間の相関係数から、各WS内での議論(D)や情報提供(I)とその回の振り返りアンケート(Q)との間には、いずれも0.5以上のやや弱いからやや強い相関関係が見られ、相関係数の高さから、WS1、3、4では参加者同士の議論(D)が、WS2では地域住民から提供された情報(Ic2)が各回のWS実施後の振り返りアンケート(Q)に特に大きな影響を与えたこと等が示唆された。

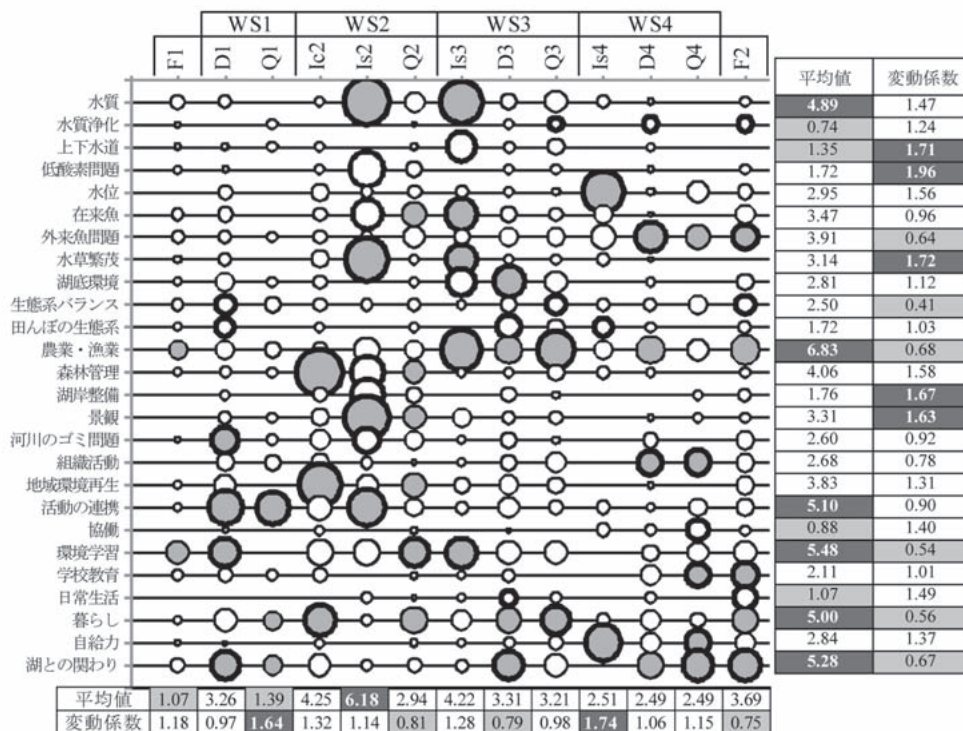


図-3 各対象データにおける各話題の出現率とその平均値と変動係数

以上の結果から、WSにおいて言及された話題の変遷を客観的に把握する手法を提案することができたと考えられる。提案した分析方法を複数のWSに適用し、分析結果を比較することで、実施したプログラムの評価や、適切な情報の提供方法や議論の枠組み設定等、プログラムの設計に活用できると考えられる。また、本研究で提案した手法はWSに限らず全てのテキストデータに適用可能で、本手法で分析することによってテキストの内容を数値的に把握し、可視化することができると考えられる。

## 5. 琵琶湖のあるべき姿(将来像)の客観的把握

本論文の第5章では、社会的合意に基づく環境計画策定の第3要件である「利害関係者に広く受け入れられる」ために、ML21計画で掲げられている琵琶湖のあるべき姿(将来像)の1つである「昭和30年代の水質」を、客観的な数値として明らかにすることを試みる。なお、同研究結果をまとめた論文は「用水と廃水」に査読付論文として受理され、2007年12月号に掲載された<sup>9)</sup>。

推定の方法としては、琵琶湖の同一地点において測定されてきた有機物指標のうち、最も古くから継続して残っている1928年以降のKMnO<sub>4</sub>消費量データ(大阪市水道局)<sup>10)・11)</sup>の値に1/4を乗じてCOD<sub>Mn</sub>5分法(以下、5分法。1965年から78年の間だけ上水試験方法として使用されていた有機物指標)の値に換算する。さらに、1972年から82年間に滋賀県によって5分法と公定法が同時に測定されており、同期間中、同一試料に関して報告されていた全測定データ<sup>12)・13)</sup>から5分法とCOD<sub>Mn</sub>公定法(JIS K 0102規格17。以下、公定法)の相関関係を算出し、これを用いて5分法の値を公定法の値に換算する。

上記の方法を用いて、1949年から2003年までの三井寺沖のKMnO<sub>4</sub>消費量の値から、公定法の75%水質値を推定した結果をその95%信頼区間と72年



図-4 1949年以降の琵琶湖(北湖)における公定法の75%水質値の推定値とその95%信頼区間

からの実測値(年平均値)とあわせてここでは北湖についてのみ図-4に示す。

その結果、過去における琵琶湖の水質を公定法で測定した場合、昭和30年代の北湖ですら現行の環境基準を満たしていなかった可能性が高いことがわかった。種々の問題点が指摘されている<sup>14)</sup>公定法であるが、本研究の結果を見る限り、琵琶湖においては今後も測定は続け、本研究で推定した昭和30年代のレベルにまで低減させることが同湖の水質の「質」の改善に向けた今後の政策の目指すべき方向性の1つであろうと考えられる。

以上の結果から、「昭和30年代の水質」のうち有機物指標(COD)を、客観的な数値として明らかにすることができたと考えられる。

## 6. 合意形成を支援するツールの提案

本論文の第6章では、専門的な知識を要する施策を社会的合意に基づいて実施するために、合意形成を支援するツールを提案する。なお、同研究結果をまとめた論文は2005年度土木学会環境システム委員会に査読付論文として受理され、発表済みである<sup>15)</sup>。

より具体的には、滋賀県における超高度下水処理導入問題に関する社会的合意形成を支援するために、琵琶湖の総合保全のための施策全体に対する住民の支払意思額(以下、WTP)を大規模な仮想市場調査法(以下、CVM)によって、施策全体の中に占める下水道事業の重みを、住民と行政担当者が分担して階層分析法(以下、AHP)によって評価することで求め、施策全体に対するWTPと下水道事業の重みの積によって同事業に対するWTPを求めるツールを提案することを試みる。

上記で提案したツールを試行するために、滋賀県守山市・今津町の住民を対象として施策全体に対するWTPと価値観レベルまでの重みを、行政担当者を対象として施策レベルの重みを尋ねるアンケートを実施した。

その結果、施策全体に対するWTPの中央値は500円/世帯・月(平均値は665円/世帯・月)であった。さらに、守山市・今津町の住民の価値観レベルまでの重みに行政担当者の施策レベルの重みを掛け合わせた結果を図-5に示す。

図に示すように、下水道事業を表す「生活系負荷削減」の重みは約7%となり、これに、先に示した施策全体WTPの中央値500円/世帯・月を掛け合わせると下水道に対するWTPが35円/世帯・月と算出された。

本ツールの有効性を検証するために、滋賀県内の一部の住民を対象とするWSを実施した。その結果、

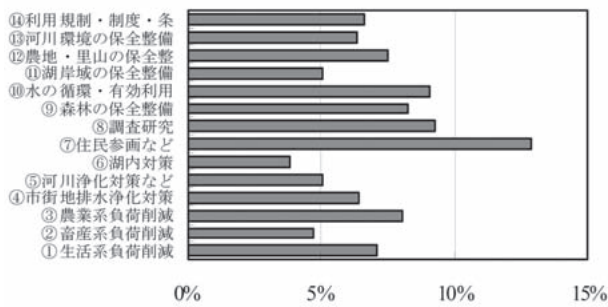


図-5 各施策の重み

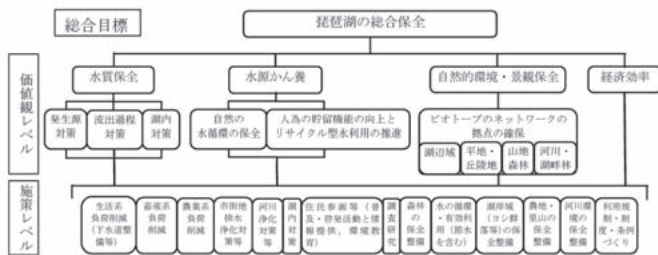


図-6 ML21 計画に基づく階層構造

提案したツールは、直接的に下水道に対する WTP を求める方法に比べ、変動係数が小さいため、統計的により信頼性の高い住民の下水道事業への WTP の平均値を求めることができることが示せた。

また、図-6 に示す ML21 計画の AHP 階層図のうち、価値観レベルについて、視覚的ペア比較法<sup>13)</sup> による AHP の重み付けを、超高度処理に関する情報提供の前後に求め、それらの重みを比較した。その結果、情報提供前後で 5% 以上の変化を示した要素はなく、相関係数は  $r = 0.99$  であった。また、WS 参加者と行政担当者の重みを比較した結果もよく一致 (相関係数  $r = 0.93$ ) していたことから、価値観レベルの重み付けは、回答者の価値観を尋ねるものであり、知識レベルに依存しない、したがって、十分な情報提供のないアンケート形式でも住民に価値観レベルの重み付けを行わせることが可能であることが示せた。

さらに、図-6 に示す階層図の施策レベルの重み付けについては、住民にとって施策の内容の理解が十分でない状態で行うことは困難であり、同重み付けは、施策に対する知識が豊富な行政担当者が行ったほうが AHP から求める各施策の重みの信頼性がより高いことが推察された。

提案する重み付け方法によって算出された各施策の重みに対して WS 参加者の約 70% が納得すると答えており、同方法は、住民の価値観と行政担当者の専門知識をともに施策の重みに反映できる点からも優れていると考えられる。

最後に、同ツールは下水道事業に対する WTP と、

それ以外の保全施策に対する WTP との相対的な比較にも使用可能であり、個別施策に対する WTP の合計が保全施策全体に対する WTP を上回ってしまうような過大評価を行うこともない。

以上より、超高度下水処理の導入問題に関する合意形成支援ツールを提案することができ、手法の有効性を部分的ではあるが検証することができたと考えられる。

## 7. 社会的合意に基づく広域環境基本計画を再策定し、実施するためのプロセスの提案

本論文の第 7 章では、前章までに提案した方法論を用いて、各都道府県においてすでに策定されている広域環境基本計画を社会的合意に基づいて再策定し、実施するためのプロセスを提案する。

まず、本研究で再策定を想定する広域環境基本計画の構成を図-7 に示す。本研究では、計画の再策定プロセスを「計画素案」「計画原案」「計画案」「計画」作成の 4 段階に分け、最初の 3 段階のプロセスと計画実施段階において有用であると考えられる PI 手法を提案する。

まず「計画素案」作成段階では、専門家委員会が計画対象の現状を評価するとともに、人々の価値観を把握し、その価値観を反映した、図-7 の「計画の基本的事項」から「対策の柱 (目標)」までと、いくつかの「施策」の例示で構成される計画素案を作成する。そのために提案するプロセスを図-8 に示す。

次に「計画原案」作成段階では、行政が、素案に対する国や都道府県、市長村の関連部局の意見を参考に、環境審議会に諮る案として、図-7 の「計画の基本的事項」から「行動指針」までで構成された計画原案を作成する。

続いて「計画案」作成段階では、公式な策定プロセスとして、環境審議会が、幅広い PI 手法を用い

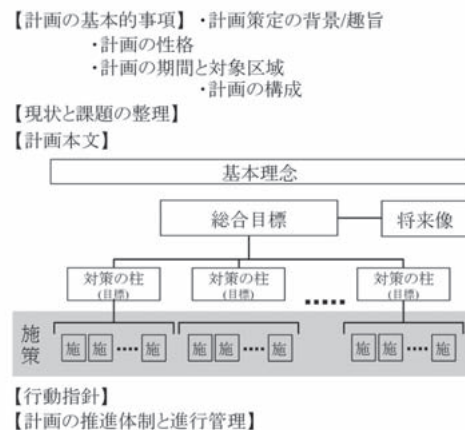


図-7 再策定する広域環境基本計画の構成

て計画の周知と住民意見の聴取を行いながら、国や都道府県、市長村の関連部局との調整のうえ、原案を審議し、図-7の構成をもつ計画案を作成する。そのために提案するプロセスを図-9に示す。

作成された計画案は、その後、計画を主管する都道府県の、議会の議決もしくは行政の長の承認によって、正式に計画となる。なお、計画策定後、策定された計画の周知を図るため、行政はできるだけ

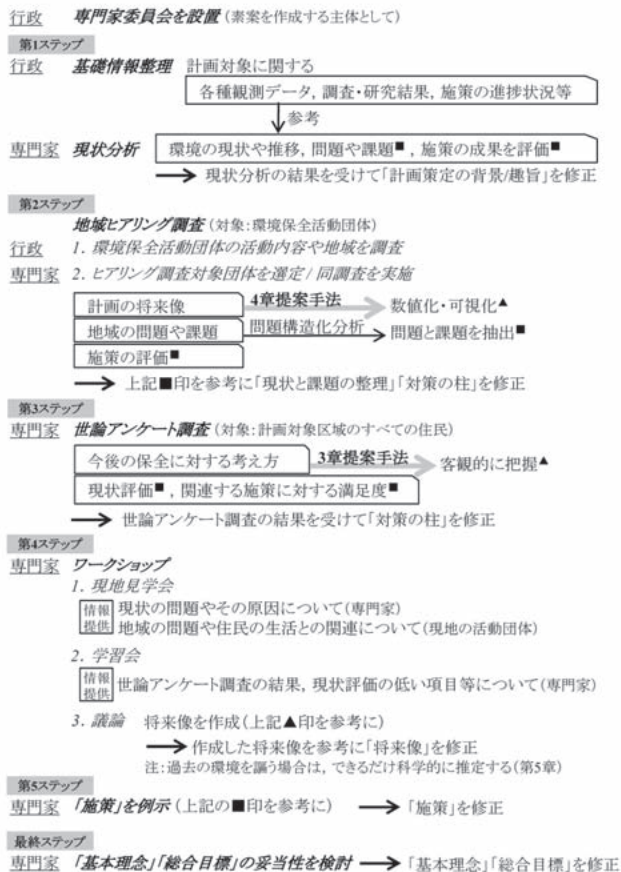


図-8 計画素案の作成プロセス

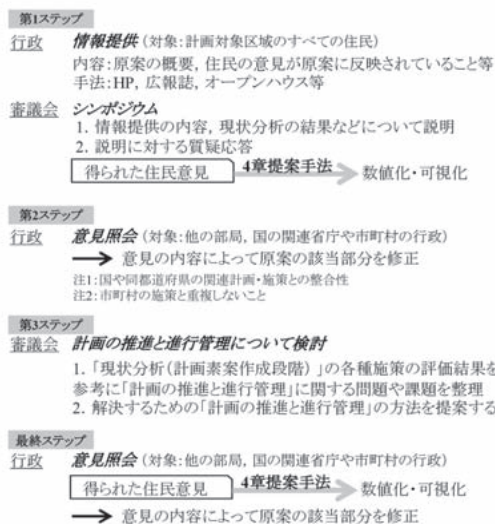


図-9 計画案の作成プロセス

早い時期にパンフレットの配布やHP等による情報提供を行うべきである。また、特に活動団体(個人)に対しては、実施段階においてそれらの主体的な役割を期待できることから、別途説明会を開催し、計画の推進方法について意見交換を行うなど、関係構築に向けた努力を継続していくことが望ましい。

また、計画実施の初期段階において、行政は、重点的に進めていくべき施策やその実施方法について議論するための公開の場を設けるべきである。そのための準備作業として、本論文の第6章で提案したツールを用いて各施策のWTPを算出し、その結果を特定事業の実施に関する合意形成において参考にすることが望ましい。

以上のプロセスによって、都道府県においてすでに策定されている広域環境基本計画を社会的合意に基づいて再策定し、実施することができると考えられる。

## 参考文献

- 1) 滋賀県:マザーレイク21計画-琵琶湖総合保全整備計画-, 滋賀県琵琶湖環境部水政課(2000)
- 2) NPO法人合意形成マネジメント協会:CaPAの目的<reen.nttdata.co.jp/ESCommitte/phase1/report/reference/con2\_kuwako3.pdf>, 2007-12-02
- 3) 滋賀県:第40回滋賀県政世論調査, 滋賀県政策調整部広報課(2008)
- 4) 平山奈央子, 杉山優太, 井手慎司:琵琶湖に対する価値観を把握する手法の提案, 環境システム研究論文発表会講演集, 37, 149-153(2009)
- 5) Naoko Hirayama, Masahisa Nakamura, Shinji Ide: Proposal of a Tool for Evaluating People's Values of Lake Biwa, 13th World Lake Conference, Wuhan, China(2009)
- 6) 木下栄蔵:入門AHP, pp.29-31, 日科技連(2003)
- 7) 平山奈央子・他:ワークショップにおける話題変遷の客観的把握と可視化の試み, 環境システム研究論文集, 38, (登載決定)(2010)
- 8) 琵琶湖流域管理シナリオ研究会:市民ワークショップの結果<http://www.lberi.jp/root/jp/16kenkyukai/ryuikikanri/3\_2workshop/3\_2workshop.htm>, 2009-10-31
- 9) 平山奈央子, 井手慎司:琵琶湖における昭和30年代以前のCOD濃度の推定, 用水と廃水, 49(12), 43-50(2007)
- 10) 大阪市立衛生試験所:事業成績概要(1927~1941), 大阪市立生活科学研究所:事業成績概要(1942~1948)
- 11) 大阪市水道局工務部水質試験所:大阪市上水道水源水質試験報告(1949~2003)
- 12) 滋賀県衛生環境センター:琵琶湖水質調査報告書(1966~1982)
- 13) 滋賀県:環境白書(1975~2003)
- 14) 井手慎司, 今井章雄, 田中佐代子:湖沼における有機物汚濁指標の歴史的背景と問題点, 用水と廃水, 48(3), 235-245(2006)
- 15) 平山奈央子, 井手慎司:滋賀県における超高度下水処理導入問題に関する社会的合意形成を支援ツールの提案, 環境システム研究論文集, 33, 431-440(2005)