デジタル航空写真画像を用いた景観構造と水鳥の多様性の比較

－ 野外学習への観察手順の応用 －

学校教育専攻　情報教育専修　1010722
松　永　悠

１．はじめに

ヨシ群落周辺には，冬季に多様な水鳥が飛来する。しかし，水鳥はヨシそのものを利用するのではなく，その周辺の浅場において採餌を行う種が多い。本研究では，まず，デジタル航空写真画像に反映される浅場の景観要素から，水鳥の多様性が高い場所を把握できるようにした。その後，インターネット上に無料で公開されている衛星画像を用いて，野外観察学習の情報化を提案した。

２．景観構造と水鳥の多様性

身近な水鳥を対象とした野外観察学習を企画する際に，適切な観察場所，特に浅場の探索は困難である。水位の変化によって，浅場の存在箇所は異なるからである。航空写真画像から緩やかな勾配を読み取り，実際に他の場所と比較して水鳥の多様性が高いのかどうか，以下のように調べた。

３．景観構造と水鳥の種の多様性の観察方法

瀬田川洗堰の下流域において，5 観察区画を設けて，2010 年 12 月 23 日から翌年 2 月 7 日の間に 24 回観察した。景観要素を「陸地」,「浅場（<50cm）」,「深場（>1m）」,「その他」,「白波」に分類し，水鳥の種類別個体数から多様度指数（H'）を計算した：$H'=-\Sigma(n_i/N)\log_e(n_i/N)$。ただし，$n_i$は種 i の個体数，N は総個体数である。

４．景観構造と水鳥の種の多様性の観察結果

各景観要素の割合は区画間で顕著に異なり，区画②と④は「陸地」と「浅場」，区画③と⑤は「深場」と「白波」が目立っていた。各区画の「深場」面積と H'の平均値には高度に有意な負の相関がみられ（$r=-0.98$, $p=0.005$），「陸地」と「浅場」の合計面積と H'の平均値にも有意な正の相関がみられた（$r=0.93$, $p=0.024$）。H'の平均値には，5 区画間で有意な差がみられ($F=38.0$, $p<0.0001$)，区画②(H'≒1.40) と④(H'≒1.38) で顕著に高く，区画③(H'≒0.58) と⑤(H'≒0.44) で顕著に低かった。区画②と④，及び区画③と⑤の間には有意差がみられなかったが，他の全ての組み合わせで有意差が認められた。区画①はオカヨシガモが最優占種であり，採餌行動が多く，他の 4 区画と異なっていた。

５．景観構造と水鳥の多様性

水鳥の多様性は，「深場」の面積が少ないほど，「陸地」と「浅場」の合計面積が大きいほど高まっていた。区画①の景観要素は，多様性が低かった区画③と⑤に似ていたが，H'の平均値は高く，水面採餌が頻繁に見られたことからも，沈水植物の存在が示唆された。航空写真画像から，「陸地」や「浅場」,「深場」の面積と沈水植物の有無を特定できれば，水鳥の多様性が高い緩やかな勾配の浅場を推定できると考えられる。

６．水鳥の野外観察学習の情報化

Google Earth の画像からも景観要素を把握できる。この点を活用することにより，野外観察学習の情報化が可能であろう。前章までの経験に基づき，Google Earth の画像の色彩に注目し，水鳥の野外観察学習に適した場所の特定を試みた。すなわち，冬季において，北九州市立守恒小学校周辺にて，本研究の 3 章で用いた手順の有効性を検証した。その結果，予測した観察場所が適切であると判断でき，さらに，水鳥の目撃地点をプロットした画像を重ね合わせることにより，水鳥の出現確率のより高い場所を知ることができた。したがって，インターネット上に無料で公開されている衛星画像を野外観察学習に利用することは，汎用性の高い有効な手法と言えるだろう。

７．おわりに

デジタル衛星画像から景観情報を読み取れるため，Google Earth の利用は，野外観察学習を容易にし，生息場所の環境と生物の多様性の関係を考えるきっかけを与えるだろう。同時に，野外観察学習の普及やさらなる学習効果も期待できよう。

平成 23 年度　滋賀大学大学院教育学研究科　修士論文

デジタル航空写真画像を用いた景観構造と水鳥の多様性の比較

：野外学習への観察手順の応用

学校教育専攻　情報教育専修　1010722

松 永 悠

目次

1. はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

2. 景観構造と水鳥の種の多様性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4

3. 景観構造と水鳥の種の多様性の観察方法・・・・・・・・・・・・・・・・・5

4. 景観構造と水鳥の種の多様性の観察結果・・・・・・・・・・・・・・・・・7

5. 景観構造から推定する水鳥の種の多様性・・・・・・・・・・・・・・・・・10

6. 水鳥の野外観察学習の情報化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11

7. おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

8. 謝辞・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18

9. 引用文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19

図表

1. はじめに

高度情報化社会の到来によりインターネットが広く普及し，いつでもどこでも様々な情報を得ることができるユビキタス社会となった。例えば，GPS 機能の普及により地図情報の提供は著しく進歩し，店舗検索や経路検索は容易になり，ナビ機能はほぼ当たり前のようになっている。また，以前は専門家のみが使用していた高価な航空写真画像や衛星画像も，今では Google Earth 等により無料で配信されており，インターネットにつなげば誰でも閲覧することができるようになった。航空写真画像や衛星画像には，地形や森林，湿地やため池，住宅地や道路等，リアルな景観情報が反映されており，その使用用途は広がりを見せている。例えば，2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の際には，震災後の航空写真画像と震災前の住宅地図情報とを重ね合わせたものが被災地に無料配信され，自治体の住宅被害状況の調査に利用されたり，被災者に避難場所や炊き出し場所等の位置を知らせたりするために用いられた（ゼンリン，2011）。

社会の情報化が進展し生活が便利になる中で，学校現場では，各教員への校務用コンピュータの貸し出しや各教室での教育用コンピュータの配備，校内 LAN 等のネットワーク環境の整備等，ICT 環境の整備と教育の情報化が推し進められている。教科指導においても情報通信技術を効果的に活用することにより，子どもに分かりやすく理解の深まる授業展開が求められている（文部科学省，2011）。

しかしながら，情報化によって子どもの自然体験の機会が減っているという問題もある。携帯ゲームやインターネットによって仮想世界でのゲーム遊び体験が多くなり，インターネットの発達に伴って自然を直接体験することで感覚を養うことが困難になっている（降旗・浅岡，2006）。ユビキタス社会だからこそ，今日の教育現場において，自然に親しむ体験活動である「野外観察学習」が以前にも増して必要なのではないだろうか。野外観察学習は，他の学習に比べて，観察対象を直接見たり，聴いたり，においをかいだり，五感を使って自然を体験する機会が多く，子どもたちの自然への興味・関心を高め，活動の楽しさを経験させることもできるだろう。学校周辺には，河川や湖沼，湿地等の水域が存在することは珍しいことではなく，そのような水域には，多様な水鳥が生息する。水鳥は昆虫や他の野鳥に比べると体長が大きく，目立つ色彩をした種類も多く，子どもたちの自然への興味・関心を誘う身近な野生動物である。また，観察対象と生息環境との関係性を追究することにより，学習の深化に大切な「気づき」が生まれ，思考力を高めることにもつながると期待される。先に述べた教育の情報化と直接体験である野外観察学習は相反するものではなく，航空写真画像や衛星画像を野外観察用地図に活用したり，水鳥等の発見場所を地図上にプロットして分布マップをインターネット上で構築したり等，野外観察の様々な情報化の手法が考えられよう。つまり，情報化社会で実践される教育では，自然体験のための野外観察学習や学習効果を高める教育の情報化が積極的に行われるべきである。

野外観察の重要性は小学校学習指導要領において明記されているが（文部科学省，2008），学校現場において野外観察学習が普及しているとは言えない（鈴木，2008）。実際に野外観

察の経験をもつ教員が少ないために野外観察の実態が知られておらず(降旗・浅岡, 2006)，観察の準備に時間を要し，野外観察学習の企画は困難であると思われていることが最大の障壁であるのかもしれない。また，準備に要する時間と関連し，教材研究に十分な時間が割けないことも深刻である。身近な動物の中でも，水鳥は個体数が多く，比較的大型で観察しやすく，印象に残りやすいが，教材として扱われることはそれほど多くはないようである。水鳥の存在場所を簡単に知ることができ，野外観察学習を行うのに適した場所，すなわち「観察場所」を簡単に探すことができれば，野外観察学習の企画に有効であろう。さらにどの地点から実際に観察を行うのか，すなわち，「観察地点」をどこに設定するのかも観察学習の前にあらかじめ決めておかなければならない。また，高い頻度で観察対象が出現する地点，すなわち「コアポイント」も事前に把握しておく必要がある。野外観察学習を企画するためには，十数年前までは，十分な野外観察の経験やその土地の自然に対する知識が必要不可欠であった。しかし，最近ではインターネット上に無料で配信されているデジタル航空写真画像や衛星画像を用いることにより，誰でも容易に野外観察を企画できるようになっている。本研究では，野外観察学習を企画する際に必要な手順の情報化を行い，デジタル航空写真画像や衛星画像の景観構造に着目することにより，野外観察学習を比較的容易に企画できるようにしたい。

景観とは，一般に都市景観や水辺景観等，人の手が加わった景色や眺め，またはその美しさを表す際に使われている言葉である（新村，2008)。さらに，生態学的見地からは，「少なくとも一つの要素において空間的に不均一な区域」と定義されており，空間を構成する要素の配列や組合せが，生物の生息地としてどれほどの価値があるのか研究されている（ターナーら，2004)。例えば，道路沿いの街路樹の配列や組合せが市街地に生息する野鳥の多様性に影響を与えることが知られている（プリマック・小堀，1997)。野外観察学習では，生物そのものを観察するだけでなく，景観要素がどのように利用されているのかも観察すれば，景観要素と生息環境を関連付けることができ，自然への理解を深めることができるであろう。学校教育において，生物と生息環境との関係を追究する活動が求められている（文部科学省，2008)。生息環境と言えば，気温や降水量等の物理的な環境を思い浮かべる人が多いかもしれないが，餌場や隠れ場所，繁殖場所等，動物が利用する餌としての植生や住み家としての地形や構造物，つまり景観要素が生息環境の重要な構成要素である。

野外観察学習を企画する際には，野生動物が多く集まる景観要素が何であり，どこにあるのかを知っていなければならない。景観要素は航空写真画像や衛星画像に反映されているため，野生動物が好む場所の特徴を景観要素の観点から把握することができれば，航空写真画像や衛星画像の観察から実際に野生動物の集まる場所を絞り込むことができよう。

本研究の目的は，デジタル航空写真画像に反映されている景観要素に着目して，水鳥を対象に，その多様性が高い場所を把握できるようにすることである。さらにその方法を応用し，インターネット上に無料で公開されているデジタル衛星画像を利用した野外観察学習の情報化を提案する。デジタル衛星画像を用いて水鳥が多く生息する場所を推定できれ

ば，水鳥を対象とした野外観察学習を企画することが現状よりも容易となるはずである。水鳥が多く集まる場所を特定する手順を整理し，その有効性を筆者の母校がある福岡県において検証した。学校教育の現場において，野外観察学習の企画者の作業量を減らし，また，教材研究の時間を確保することで，先に挙げた野外観察学習の問題点を克服し，野外観察学習の普及に貢献したい。

2. 景観構造と水鳥の多様性

水鳥とは，水域に生息する鳥類の総称である。海洋島などの周辺，すなわち海洋の沖合にも生息しているが（中村，1995 ），陸水域に限定すれば，一般に，ヨシ群落周辺に水鳥が多く生息すると言われている。例えば，琵琶湖はラムサール条約登録湿地，すなわち特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地として知られており，その湖岸に発達したヨシ群落の周辺には冬季に多様な水鳥が飛来する（口分田，1994)。しかし，水鳥の多くはヨシ群落そのものを利用しているわけではない（滋賀県琵琶湖環境部エコライフ推進課, 2000)。むしろヨシ群落の周辺，すなわち浅水域で，魚貝類の潜水採餌あるいは沈水植物等の水面採餌を行う種が多い（口分田，1994)。したがって，ヨシ群落自体よりも，むしろ多様な水深の存在が多様な水鳥の生息に影響しているものと推察される。また，陸水域の湖沼や河川，湿地等では，雨量等の変動に伴い年間に水位が大きく変動する。湖岸において，常にカモ類が沈水植物を潜水せずに採餌できるような水深 25cm 程度の浅場を維持するためには，緩やかに深度を増す地形の存在が重要であると考えられよう。このような「緩やかな浅場」にはヨシ群落自体も発達しやすい（滋賀県自然誌編集委員会，1991)。

本研究では，まず，「水位変動の影響を受けにくい緩やかな浅場において水鳥の種の多様性が高くなる」という仮説を検証した。この仮説の検証の際には景観要素に注目し，緩やかな浅場，すなわち，陸地から浅場，深場へと徐々に深度を増す水辺の景観構造を，デジタル航空写真画像の景観要素の面積から読み取るよう試みた。「緩やかな浅場と水鳥の多様性」仮説を検証するために，ヨシ群落が存在せず，水位が変動しても常に浅場が存在するような場所を Google Earth の衛星画像を用いて探索した。その結果，瀬田川洗堰の下流域には干出した陸地から水深 1m 以上の深場まで存在し，ヨシ群落等の抽水植物群落はほとんどみられないため，景観構造と水鳥の多様性に関する観察に適した場所と判断した。瀬田川は，琵琶湖からの唯一の流出河川であり，宇治川，淀川と名称を変えながら大阪湾へと流れている。瀬田川洗堰において琵琶湖の人為的な水位操作を行っているため，本調査場所の水位も大きく変動する。デジタル航空写真画像の色彩に反映されるような陸地や浅場の面積が大きい場所では水鳥が多く生息すると予想され，深い場所だけでは水鳥の多様性は低くなると予想される。具体的な仮説の検証方法については，次章で詳しく述べる。

3. 景観構造と水鳥の種の多様性の観察方法

3－1. 観察方法の概要

観察は，瀬田川洗堰（北緯 34 度 56 分 10 秒，東経 135 度 54 分 47 秒）から約 400m までの下流域において，5 観察区画を設けて，約 200m ごとに設定した 2 つの観察地点から，双眼鏡（8×22，OLYMPUS），またはフィールドスコープ（25×56，Nikon）を用い，2010 年 12 月 23 日から 2011 年 2 月 7 日までに合計 24 回，7:00 から 13:00 の間に行った。水鳥の全個体の種を同定しながら，各個体の存在位置と行動パターン（採餌・休憩・遊泳）を景観マップ上（以下を参照）に直接記録した。なお，雨天・降雪時には観察を行わなかった。水位は，基準となる目印からの変化を 10cm 単位で計測した。基準となる目印は，洗堰傍に敷き詰められたブロックの一つに設定し，このブロックの段差（約 10cm）を利用して計測した。

3－2. 景観マップの作成方法と景観構造の把握

景観マップとは，観察場所の地図であり，水鳥がどのような景観要素を利用し，どこで何をしていたかを 1 個体毎に種類別にマッピングするためのものである。景観マップは国土地理院が発行している空中写真（デジタル画像データ，1270dpi カラー，評定図 CKK-2008-1，京都東南部，C-27B32，1/150000）をベースマップとして活用した（図 1）。

まず，航空写真画像が収められた DVD-R から，パソコン上でデータを読み込み，画像処理ソフト（Adobe Photoshop）を用いて画像を開く。その後，観察場所の詳細を把握するため拡大し，約 2 区画を表示させたものを編集した（図 3－5）。画像の拡張子は，高画質で印刷に適した TIFF 形式を用いた。さらに，航空写真画像に写し出されていない景観要素を現地で確認し，書き込むことにより景観マップを完成させた。

航空写真画像の色彩と現地での目視によって，観察区画のもつ景観要素を以下のように分類した。すなわち，高水位時には水没する「陸地」，低水位時には干出する「浅場（水深 50cm 未満）」，常に水深が 1m 以上の「深場」，及び「浅場」と「深場」の中間の深度となる「その他」，さらに「白波」の有無から流速にも着目した（図 3－5，8）。白波は画像から明確に識別できるため，この景観要素が存在する場所は水流が大きいと判断した。

画像ソフトのポスタリゼーション機能（値：11，許容量：0）を用いて航空写真画像の色の階調を簡略化し，現地での観察結果を参考としながら調査区域内を 5 種類の要素に塗り分けた。その後，各景観要素の色を抽出し，抽出した色の面積を画像処理ソフト（ImageJ）を用いて計測した。ただし，「白波」以外の 4 要素の面積の合計を 100 として各要素の割合をパーセントで示した。

3－3. 多様度指数の計算と統計処理

出現種数・個体数のデータから，各区画の多様度指数を観察日ごとに算出した。一般に，生物の種数が多く，種間での個体数の差が小さい場合は多様性が高く，種数が多くても，ある特定の種の個体数が突出して多い場合は，多様性が低いと言う（プリマック・小堀，1997）。この多様性を数値化したものが多様度指数である。この値が大きければ多様性が高い。多様度指数（H’）は不確定性を扱った情報理論から開発された Shannon-Wiener の関数であり，次のようになる（服部，2000）。

$$H' = -\Sigma \left(ni / N \right) \log \left(ni / N \right)$$

ここで，ni は種の個体数であり，N は総個体数である。

得られた多様度指数や種数，個体数の平均値を区画間で比較するために一元配置分散分析（ANOVA）を行い，さらに 2 区画間の全ての組合わせについての差を比較するために Bonferroni/Dunn の多重比較検定を行った。また，水位の変動と多様度指数，出現種数および個体数の平均値の間においてそれぞれピアソンの相関係数を求め，その有意性の検定を行った。区画間における行動パターンの違いについては，χ^2 独立性の検定を行った。統計解析には，統計ソフト Statcel2 を用いた（柳井，2004）。

4. 景観構造と水鳥の種の多様性の観察結果

4－1. 水鳥の種類組成と気温および水位の変動

観察できた水鳥は 18 種類であり，総個体数は 5375 個体であった。種類組成は，サギ科では 3 種，アオサギ，コサギ，チュウサギ，ガンカモ科では 12 種，オカヨシガモ，オナガガモ，カルガモ，キンクロハジロ，コガモ，シノリガモ，スズガモ，ハシビロガモ，ヒドリガモ，ホシハジロ，マガモ，ヨシガモ，カイツブリ科ではカイツブリ，ウ科ではカワウ，カモメ科ではユリカモメのそれぞれ 1 種がみられた。出現上位種のキンクロハジロ，オカヨシガモ，ホシハジロ，ヒドリガモが全体のそれぞれ約 43%，約 23%，約 14%，約 7%を占め，この 4 種の合計個体数が全体の約 90%を占めていた（図 7)。

観察期間中の最高気温は観察初日（12 月 23 日）の 14.5℃であり，最低気温は 1 月 30 日の 2.1℃であった。観察期間初頭は比較的高い気温を示したが，その後急激に気温が下がり，12 月 29 日から観察期間末期まで 8 ℃付近を変動した。(図 6)。調査期間中，気温と水鳥の出現種数，個体数，および多様度指数との間に有意な相関関係はみられなかった (表 1)。

水位は，－35cm から＋10cm の間を推移し，平均は－5.8cm であった。気温と同様に観察期間初頭に高かったが，12 月 28 日から急激に下がり，1 月 4 日以降には上昇傾向に転じ，観察期間末期に最も高くなった（図 6)。調査期間中，水位と水鳥の出現種数には弱い負の相関関係がみられたが，水位と個体数，および多様度指数との間には有意な相関関係はみられなかった（表 1)。

4－2. 水鳥の多様性と景観構造

4―2―1. 各区画の景観構造の特徴

景観構造の構成割合を区画間で比較すると，顕著に違いがみられた（図 9，表 2)。各区画の景観要素の特徴を以下に示した。

区画①：「その他」の面積が多く，「深場」も存在した。また，堰付近に「白波」が点在していた。

区画②：「陸地」面積が最大であり，次いで「浅場」面積が広く，「深場」は存在しなかった。「白波」は確認できなかった。

区画③：「浅場」と「その他」がわずかに存在し，「深場」の面積が最大であった。瀬田川洗堰のバイパス水路の排水口が隣接しており，その付近では「白波」が顕著に確認できた。

区画④：最も「浅場」面積が広く，わずかに「陸地」があり，「深場」は存在しなかった。「白波」は確認できなかった。

区画⑤：「その他」と「深場」のみで構成されており，占有面積の割合はほぼ同じであった。「白波」は点在していた。

4－2－2．景観構造と多様性の比較

各区画の「深場」の面積と，その区画の多様度指数や出現種数，個体数の平均値には有意な負の相関関係がみられた。特に出現種数や多様度指数との間には非常に高度に有意な相関関係がみられた（図 10：出現種数の平均値との相関，r＝－0.9804，p＝0.0033，n＝5；多様度指数の平均値との相関，r＝－0.9754，p＝0.0047，n＝5；個体数の平均値との相関，r＝－0.9515，p＝0.0128，n＝5)。

また，「陸地」と「浅場」の合計面積と多様度指数，および出現種数との間にも高度に有意な正の相関関係がみられた。しかし，個体数との間には有意な相関関係はみられなかった（図 11：多様度指数の平均値との相関，r＝0.9255，p＝0.0242，n＝5；出現種数の平均値との相関，r＝0.9092，p＝0.0325，n＝5；個体数の平均値との相関，r＝0.7721，p>0.05，n＝5)。

4－2－3．区画間での多様性と種類組成の比較

多様度指数の平均値は，5 区画間で有意な差がみられ（一元配置分散分析：F＝37.9840，p<0.000001)，区画②(H'=1.4047)と区画④(H'=1.3839)で顕著に高く，区画③(H'=0.5752)と区画⑤（H'=0.4368）で顕著に低かった。

多重比較検定を行い，5 区画を 2 区画ごとに比較すると，多様度指数の平均値には，区画②と④，および区画③と⑤の間には有意な差がみられなかったが，他の全ての組み合わせで有意な差が認められた。出現種数と個体数にも同様な結果が得られたが，個体数の平均値においては，区画①と②の間にも有意な差はみられなかった（図 12)。

多様度指数の平均値に差がみられなかった区画②と④では，種類組成が似ており，出現上位種の 7 種までが同じであったが，区画②ではカワウが多く，区画④ではカワウは少なく，カイツブリが多くみられた（図 13)。多様度指数の平均値に差がみられなかった区画③と⑤では，どちらも最優占種がキンクロハジロであったが，その個体数に顕著な違いがみられ，区画⑤の方が多かった。区画③では 176 個体で，区画内の約 53%であったが，区画⑤では 239 個体で，区画内の約 74%を占めるほど多かった。ヒドリガモの個体数にも顕著な違いがあり，区画③では 28 個体で出現上位種に挙がったが，区画⑤では 2 個体しかみられず区画内で最も少なかった（図 13)。

区画①では，種類組成は区画②と④に似ているが，優先種の順位が大きく異なっていた。すなわち，区画①ではオカヨシガモが最優先種であり，他の 4 区画と大きく異なる点であった。加えて，ヒドリガモが 3 個体であり，区画②と④に比べて優先種順位が非常に低かった（図 13)。

4－2－4　各区画での行動パターン

各区画で観察された全個体を行動パターンによって分類し，その割合を区画間で比較す

ると，区画②と④はほとんど同じ傾向にあり，休憩個体が多くみられ，遊泳個体は顕著に少なかった。区画③と⑤も同じような傾向にあり，他の 3 区画に比べて遊泳行動が多くみられた。区画①は他の区画に比べて大きく異なり，採餌行動を示した個体が顕著に多かった（図 14)。区画②と④では有意な差がみられ（p＝0.013)，区画②は期待値よりも休憩個体が大きく，採餌個体と遊泳個体が小さかった。一方，区画④は期待値よりも採餌個体と休憩個体が大きく，休憩個体が小さかった。区画③と⑤でも，有意な差がみられ（p＝0.044)，区画③は期待値よりも採餌個体が小さく，休憩個体が大きかった。一方，区画⑤では期待値よりも採餌個体が大きく，休憩個体が小さかった。

各区画で観察された具体的な行動は以下の通りであった（表 3)。

区画①：最優先種であったオカヨシガモは，採餌行動を示した個体が顕著に多く，水面採餌を行っていた。オカヨシガモに次ぐ優先種であったキンクロハジロとホシハジロは，採餌個体と休憩個体の数が同じくらいであった。

区画②：潜水採餌を行うカワウは 5 区画の中で最も多くみられ，陸地で羽を乾かす行動が多かった。この行動は休憩として分類されたため，約 80%が休憩行動を示すことになった。潜水採餌を行うカモ類とカワウはほとんどが休憩行動を示したが，水面採餌を行うオカヨシガモ，ヒドリガモ，コガモは採餌を行う個体が多かった。ヒドリガモは水面だけでなく陸地で植物をついばむ個体も多かった。

区画③：区画②と隣接した浅場では，どの種類も採餌行動や休憩行動を示した。バイパス水路の排水口以南では流れが非常に早く，潜水採餌を行うキンクロハジロやホシハジロが流れに乗って遊泳していることが多かった。流れの比較的緩やかな場所では，休憩している個体も多かった。

区画④：潜水採餌を行うカイツブリは，5 区画間で最も多くみられた。区画内で観察できたカイツブリの約 63%が採餌行動を示したが，採餌場所は特定の場所に限られていた。水面採餌を行うカルガモも 5 区画間で最も多くみられたが，水面採餌ではなく，干出した陸地の周りで採餌している個体が多かった。

区画⑤：優先種であったキンクロハジロとホシハジロは，採餌を行う個体と，流れの緩やかな場所で休憩している個体が多かった。

5. 景観構造から推定する水鳥の種の多様性

4 章の結果から，「緩やかな浅場と水鳥の多様性」仮説が支持され，水鳥の多様性が高まる場所の景観要素が明らかになった。

最も顕著だったのは，「深場」が少ない場所ほど水鳥の多様性が高かったことである。これは，区画③と⑤の多様度指数の平均値が顕著に低かったこと，各区画の多様度指数の平均値と深場面積との間に高度に負の相関がみられたことから推察できる。次に，「陸地」と「浅場」の合計面積が多い場所ほど水鳥の多様性は高かったことである。これは，区画②と④の多様度指数の平均値が顕著に高かったこと，各区画の多様度指数や出現種数の平均値と「陸地」と「浅場」の合計面積との間に高度に正の相関がみられたことから推察できる。区画②のように「陸地」面積が多いと，カワウが多くみられ，休憩個体も多くなった。一方，区画④のように「浅場」面積が多いと，カイツブリが多くみられ，採餌個体と遊泳個体が多くなった。区画②と④では多様度指数や出現種数，個体数の平均値に有意な差はみられなかったため，多様性という観点からは，「陸地」と「浅場」のどちらが多くても多様性は高まると考えられる。最後に，水鳥が好む沈水植物が生えている場所で比較的多様性が高かったことである。区画①は「深場」と「その他」の景観要素が広域を占め，水鳥の多様性が低かった区画③や⑤と似た景観構造を示したが (表 2)，多様度指数の平均値は，水鳥の多様性が高かった区画①と②と同程度であり，他の 4 区画に比べて，区画①では採餌個体が顕著に多かったことから推察できる。

琵琶湖湖岸で行われた水鳥に関する調査において，ヨシ群落外縁の水域に水鳥が密集することが報告されている（滋賀県自然誌編集委員会，1991)。また，人工的な湖岸区域よりも，ヨシ群落の存在する自然に近い湖岸区域の方が多様性は高まると考えられている。さらに，ヨシ群落外縁にマコモ群落を有する場所は，湖底面が浅くなだらかであるため，多種の水面採餌ガモにとって適した場所であると報告されている（前，1997)。ヨシ群落やマコモ群落が繁茂する場所とは陸地や浅場である。本研究の結果は，水鳥が多く集まる場所とは，ヨシ群落そのものではなく，陸地や浅場であることを示していた。ヨシ群落が無くても，「陸地」や「浅場」，「深場」の面積の広さ，植生の有無を特定することができれば，水鳥の多様性が高い場所を特定することができるはずである。

本調査で用いたデジタル航空写真画像から，水鳥の多様性が高まる景観構造を特定することが可能である。「深場」は濃紺色，「陸地」や「浅場」は茶色の濃淡を見分け，植生の有無を，緑色の濃淡によりある程度まで判断できるだろう。季節や水位によって景観要素の見え方は変わるため，実地調査によって詳細な景観情報を得る必要があるだろう。

6. 水鳥の野外観察学習の情報化

6－1. 野外観察学習の情報化

野外観察学習を行う際に，観察場所や観察地点をどこに設定するのかは非常に重要な問題である。観察対象が生息しない場所に行っても無意味であり，観察対象に出会えるまで探し続けるのも，学習時間の限られた教育現場では学習効果を薄めてしまう。野生動物は，行動範囲が広く，特定の場所に行けば必ず出会えるとは限らない。しかしながら，野生動物には種に固有の休息場所や餌場，隠れ場所があるため，その行動圏はでたらめに存在するものではない。つまり，複数の種を対象とし，それらの種がよく利用する共通の場所（餌場や休息場所）を見つけておけば，観察学習の際にいずれかの種が観察できる可能性が高くなる。野生動物が高い頻度（確率）で出現する場所や地点では動物の採餌行動や休息行動等を場所の特徴と関連させて観察することも可能である。野外観察学習において，生物と生息環境とのつながりを考えることは，思考力を高める上でも重要であり，教育的価値も高い。野外観察を行うならば，そういった場所や地点で行うべきである。

しかし，野外観察の経験が少ない教師は，どのような場所や地点が野外観察に適しているのかを判断することは困難であろう。このことは，野外観察学習が学校教育において積極的に実施されない深刻な要因の一つかもしれない。しかし，デジタル航空写真画像を用いるという 2 章で実証された手法を採用すれば，野外観察の初心者でも，観察を行う場所や地点を特定することができると考える。市販の航空写真画像は高価であるため，これまで教育現場で使用される機会は少なかったが，インターネットが普及し，Google が提供するフリーソフト「Google Earth」によって衛星画像が教育現場でも入手しやすくなった。衛星画像を使用すれば，地図や地形図からは読み取れなかった景観情報を読み取ることができ，さらに，印刷画像上に水鳥を直接マッピングすれば，水鳥と景観要素との関係を簡単に把握できる。また，衛星画像を積極的に活用することにより，野外観察学習の情報化を推進させることに貢献できよう。

6－2. 観察場所特定の手順の整理

4 章の観察経験を踏まえ，野外観察学習を企画する際に，衛星画像を活用して水鳥の多様性が高い場所を見つけ，さらには実地調査を経て観察地点やコアポイントを特定できるように手順を整理した。

(1) 水鳥の生息地として予想される河川や湖沼，湿地等を探す。

学校の周囲 2km 圏内に，水鳥の観察候補地があるかどうかを Google Earth を用いて探す（図 15－a)。市販の地形図や市街図等には，緑地や森林等のいわゆる「みどり」や水辺の湿地に関する景観情報は記載されていないが，Google Earth を利用すれば，簡単に河川や湖沼，湿地等を判別することができる。また，連携機能を使って「Google マップ」の地図表示にすれば，河川や湖沼，湿地等の水域のみが水色で表

示されるので，それらの場所を知ることができ有効である（図 15－b)。さらに，ストリートビュー機能を用いることができる場合には，現地の様子をある程度知ることが可能である（図 15－c)。

(2) 観察場所の候補地を 5 か所程度選定する。

手順(1)で発見した河川や湖沼，湿地等から，水鳥の観察場所としての候補地を 5 か所程度選定する。画像の色彩に着目して景観構造を注視することにより，多様性の高そうな場所とそうでない場所を見分ける。特に，茶色の濃淡からは浅場，緑色の濃淡からは抽水植物や沈水植物等を判別することができる（図 16)。候補地の面積は，後の実地調査の労力を考慮すれば 10,000m² 以内が望ましく，Google Earth の定規機能を用いれば，簡単に距離を測ることができる。

(3) 候補地を 1 か所に絞り，観察場所とする。

選定した候補地の景観構造を十分に比較し，候補地の一つを観察場所として選ぶ。特に，陸地や浅場，抽水植物群落や沈水植物群落の面積，見通しの良さや安全性に着眼して比較する。観察地点としては，観察場所を一望できるような安全で見通しの良い地点が望ましく，その地点の様子，例えば，歩道の幅や幹線道路の有無等に十分に配慮する必要がある。Google Earth はリアルタイムの画像が提供されているわけではないため，一度候補地全てを実際に見学し，工事の有無や交通事故等の危険性，危険物等の有無を簡単に調べておくのがよい。

(4) 観察場所の景観マップを作成する。

Google Earth で観察場所の全域を表示させ，スクリーンショット機能等を用いて画像を保存する（鈴木，2008 を参照のこと)。スケールと方位の表示が不可欠であるため，保存前に定規機能でスケールを書き込み，Google Earth の画面右上の方位表示を含めた状態でコンピュータに取り込み，この印刷画像を実地調査に持参する地図，すなわち景観マップとする。

(5) 観察場所で実地調査を数回行い，観察地点とコアポイントを見定める。

野外観察学習で使用するコアポイントと，実際に観察を行う観察地点を見定めるため，実地調査を複数回行う必要がある。どこにどんな種類の水鳥が集まっていて，何をしていたのか，また野外観察学習を行う季節の景観情報を確かめる。実地調査には景観マップを利用し，この景観マップ上に水鳥の存在位置をマッピングする（図 17)。航空写真が撮影された日付によっては景観情報が大きく異なる可能性があるため，実際の景観要素と景観マップを入念に比べる。実地調査の観察では，観察地点から候補地全体を見るだけではなく，候補地の周囲を歩きながら，実際に水鳥がより観察しやすい地点，すなわちより良い観察地点を探す。実地調査は 3 回程度日を変えて実施し，すべての景観マップを重ね合わせれば，水鳥の多くみられるコアポイントを特定できる（図 18)。

6－3. 観察場所特定の手順の検証

前節の手順に基づいて，実際に野外観察学習に適した場所や地点が特定できるのかどうか，本調査場所とは全く異なる場所，すなわち，筆者の母校である福岡県北九州市立守恒小学校近辺において検証を行った。

(1) 水鳥の生息地として予想される河川や湖沼，湿地等を探す。

守恒小学校の周辺において，Google Earth 画像を用いて水鳥の生息地になりそうな河川や湖沼，湿地等を探した結果，半径約 2km 圏内に 5 か所以上の水域が発見できた（図 19－a)。

(2) 観察場所の候補地を 5 か所程度選定する。

Google Earth 画像の色彩に基づいて，2 章の景観要素の区分，すなわち「陸地」,「浅場」,「深場」，そして「その他」に注目し，各候補地の景観情報を読み取りながら候補地を 5 か所選定した（図 19－b)。

候補地①:守恒小学校から 1km 圏内の住宅地の中に位置する直径 200m から 250m 程度の濁ったため池である。「陸地」や「浅場」はみられず,「深場」と「その他」の面積が多い。池の周囲は護岸されており，小規模なヨシ群落や木々に囲まれている部分もある。南西にあるため池全体を一望できそうな道路は，幅員も広く，交通量も少ない様子であるため，観察地点となり得る（図 20)。

候補地②:守恒小学校から 1.2km 程度離れた田畑に囲まれた直径 150m から 200m 程度の濁ったため池である。地元の情報によれば，ブラックバスの釣りが行われることがある。「その他」の景観要素が池全体を占めており，「陸地」や「浅場」,「深場」は存在していないようであった。池の縁は護岸されており，北側に大規模なヨシ群落がみられ, 所々に浮葉植物も確認できた。南側に見通しが良さそうな道路が確認でき，歩道は狭いがガードレールで守られているため，観察地点となり得る（図 21)。

候補地③:守恒小学校から 1.5km 程度離れた道路に囲まれた直径 100m から 150m 程度の濁ったため池である。ヨシ群落のある池の西側は「浅場」，東側は「その他」であり，「陸地」や「深場」は確認できなかった。池の縁は護岸されており，ヨシ群落以外の植生は色彩から読み取れなかった。見通しの良い小さな広場が確認でき，観察地点となり得る（図 22)。

候補地④：守恒小学校から 2km 程度離れた幅 50m 程度の河川であり，衛星画像に沈水植物がはっきりと反映されるほど水の透明度は高い。地元の情報によれば，さらに上流ではホタルが見られることがある。「陸地」が点在し，川の中央付近は「浅場」であった。岸に沿った川は両端には「その他」がみられ,「深場」は確認できなかった。川辺は護岸されており，候補地全体に沈水植物が多く確認できた。橋の上は歩道もあり候補地全体を一望できるため，観察地点の候補である（図 16)。

候補地⑤：守恒小学校から 2km 程度離れており，候補地⑤の約 600m 下流に位置する。候補地④と同様に幅 50m 程度の水の透明度の高い河川である。候補地の中で

最も「陸地」面積が大きく，「浅場」もみられ，「深場」や「その他」景観要素は確認できなかった。川辺は護岸されており，「浅場」には沈水植物と思われる植生が多く確認できた。候補地④と同様に，橋の上が観察地点の候補である（図 23）。

(3) 候補地を 1 か所に絞り，観察場所とする。

各候補地の衛星画像の色彩を詳細に比較・検討し，水鳥の多様性が高いと推測される候補地を選んだ。すなわち，2 章の調査結果に基づいて，画像の色彩から，「深場」は存在せず，「陸地」と「浅場」の面積が多く，さらに抽水植物や沈水植物がみられる候補地を観察場所として特定した。以下のように実際に観察を行い，衛星画像を用いた観察場所の選定方法を検証した。

候補地①：衛星画像の通り，「深場」と「その他」の景観要素が多く，水深が 50cm 以上のため池であり，周囲に小規模のヨシ群落や木が点在していた。道路や池の脇にある小道等，観察地点に適した場所は複数存在した。水鳥の多様性が高い景観ではなく，実際には 3 種の水鳥が観察されたにすぎなかった。カイツブリ，バン，カワセミがみられ，木々や抽水植物によって姿を隠すことができる地点に多くみられた。小規模なヨシ群落を水鳥が利用している様子はなかった（図 24）。

候補地②：衛星画像で読み取ったとおり，「その他」の景観要素が多く，水深が 50cm から 1m 程度のため池であり，ヨシ群落は衛星画像で読み取った規模より少し小さかった。田畑や住宅のような私有地に囲まれており，道路からのみ観察することができた。候補地①より水鳥の多様性が高いと予測できるが，決して水鳥が好む景観ではなく，実際には 3 種の水鳥が観察された。出現種はアオサギ，オカヨシガモ，ヨシガモがみられ，カモ類は北側でみることが多く，浮葉植物をついばむように採餌していた（図 25）。

候補地③：衛星画像が示したとおり，中規模のヨシ群落がある西側は「浅場」が存在し，その東側は「その他」の景観要素，すなわち水深 50cm から 1m 程度の水域であった。広い歩道に囲まれ，小さな広場もあり，観察地点になり得る場所が多かった。水深に関する景観要素のみに注目すれば，候補地①や②よりも水鳥の多様性が高いと予測できるが，この候補地の面積は最少であり，道路に囲まれて交通量や人通りが多く，水鳥はまったくみられなかった（図 26）。

候補地④：衛星画像のとおり，「深場」はみられず，「陸地」と「浅場」の景観要素が多い河川であった。したがって，水鳥が好む景観であると判断された。また，衛星画像上で判断したとおり，水鳥に警戒されることなく間近で観察できる橋の上が，観察地点に適していた。出現種数は，次の候補地⑤と同数で最多であり，カイツブリ，オオバン，バン，コサギ，カルガモ，ヒドリガモ，アオサギの 7 種がみられた。5 か所の候補地の中で，総個体数も最多であった。水面採餌ガモが沈水植物を採餌している様子が多くみられたことから，浅場に繁茂した沈水植物が水鳥にとって良い餌場となっていたと考えられる。オオバンの個体が多くみられ，クロモと思われる沈水植物

を採餌していた（図 27）。

候補地⑤：衛星画像が示したとおり，「深場」はみられず，「陸地」と「浅場」の景観要素が多い河川であった。したがって，水鳥が好む景観であると判断された。また，衛星画像上で判断したとおり，橋の上や両岸の道路は見通しが良く，観察地点に適していた。しかし，「陸地」の面積が候補地④よりも大きく，したがって，開水面の面積は候補地④よりも小さかった。出現種は，カイツブリ，ヒドリガモ，バン，カルガモ，アオサギ，コサギ，マガモの 7 種で，候補地④と同数であったが，総個体数は候補地④よりも少なかった。候補地④と同様に，浅場に繁茂した沈水植物が水鳥にとって良い餌場となっていたと考えられる。クロモと思われる沈水植物は肉眼では確認できず，オオバンがみられなかった（図 28）。

水深に関する景観要素のみ注目すれば，水鳥の多様性は，候補地⑤において最も高いと予測できるが，実際には候補地④において最も高く，出現種数は同数であったが，個体数は異なっていた。この原因として，ヨシ群落を含めた陸地を除く面積が大きく異なっていたことが挙げられる。2 章の調査場所である瀬田川洗堰の下流域は，元々ヨシ群落が少ない上に水位変動が大きい場所であるため，常に「浅場」を維持するためには，「陸地」，すなわち，高水位時には浅場になる場所の存在が重要であった。しかし，候補地④と E では，大きな水位変動がないため，候補地④と⑤の間では陸地の面積があまり重要でなかったと考えられる。出現種に違いがあったのは，沈水植物の種類が異なったためと推測される。しかしながら，衛星画像から読み取った景観情報に基づいて予測した通り，候補地⑤も候補地④と同様に適切な観察場所であったと言える。

(4) 観察場所の景観マップを作成し，実地調査（予備調査）の準備を行う。

観察場所に設定した候補地⑤の景観マップの印刷画像を作成した（図 24）。

(5) 実地調査を数回行い，観察地点とコアポイントを見定める。

水鳥の出現位置をプロットした候補地⑤の景観マップをすべて重ね合わせると，水鳥が多く出現した地点，すなわちコアポイントが特定できた。候補地の周囲を歩いた結果，橋の上がコアポイントを最も観察しやすかったため，観察地点として特定できた（図 28）。

3 回の調査であったが，観察場所と観察地点，コアポイントを特定することができた。前節で整理した手順は，野外観察学習を行う場所の特定において，十分有効な手法と言えるだろう。また，4 章で行った調査において，累積種数は 23 回目の観察で頭打ちになったが，5 回目の観察で 18 種中の 14 種を満たしており，それ以降，新しい種は 15 回目まで出現しなかった。生息種の詳細を知るためには，少なくとも 5 回以上の実地調査が必要である。

7. おわりに

世界には様々な種類の生物が存在しており，同じ科に属していても種によって形態（容姿）や生活史（生活スタイル），生息場所（活動場所），行動様式等が少しずつ異なっている（桜井善雄，2003）。野外観察に慣れてくると，そのような違いが自然と目に入るようになり，図鑑等でもこのような点が強調されている。しかし，特定の種をじっくり観察しなければ，そのような違いは見えにくく，野外観察になじみのない人は一通り種類の違いを認識できればそれで満足してしまうことが多いのではないだろうか。まず，様々な景観要素を識別し，要素ごとにどのような生物がどのように利用しているのかを観察する方が多様な生物の形態や生活史，生息場所や行動様式の違いに気づく有効な方法だと思われる。

本調査で観察された水鳥，例えば，水面採餌ガモであるカルガモと潜水採餌ガモであるキンクロハジロでは好む場所が明らかに異なる。カルガモは沈水植物が繁茂するような浅い（少なくとも 1m 以浅の）水辺を好むが，キンクロハジロは水辺から離れた深い（少なくとも 1m 以深の）水域を好む（斉藤，2000，2005）。このような生息場所の違いは景観要素としてとらえることができ，衛星画像や航空写真画像を見ることで十分識別することができる。Google Earth で読み取れるような「緩やかな浅場」において，多様な水鳥が観察できると期待できる。3 章で述べたとおり，その生物を良く知るためには，野外観察において生物と景観要素の関係を考えることが重要である。さらに，景観要素の組み合わせにも注目すれば，景観の構造が見えてこよう。例えば水辺の景観において，コンクリート護岸と深場，桟橋と護岸沿いの街路樹のみにより構成されたウォータフロントの景観構造と，小規模なヨシ群落と砂浜，水辺林が混在し，浅場や深場，さらに小規模な沈水植物群落から構成された水辺の景観構造では，その違いは誰でも識別できる。各々の景観要素をどのような生物がどのように利用しているのかを見ることにより，景観構造と生物の多様性の関係を考えることができるであろう。景観という自然環境に目を向けることにより，持続可能な開発や自然の保護・保全を考える環境教育にもつながり，野外観察学習はさらに意義深いものとなり，子どもだけでなく，教師自身もその意義を再認識することができよう。

教育の情報化においては，情報通信技術を用いることにより，時間的あるいは空間的な制約を超えること，双方向な伝達を行うこと，場面に応じたカスタマイズを行うことが重要である（文部科学省，2011）。本研究では，デジタル航空写真画像や衛星画像を用いて景観要素を読み取った。これは，時間的・空間的制約を超えた情報通信技術の利用であり，実際に現地に赴く前の準備段階において，観察場所を有効に探す手法であった。また，科札場所の景観マップを適切なスケールで作成し，画像処理ソフトを用いて現地での観察による植物群落や水鳥の分布情報を重ね合わせることにより，景観要素と生物の分布マップを作成することは，情報技術を用いたカスタマイズの一種と捉えることができよう。Google Earth では，個人レベルで把握した様々な対象の位置情報を Google Earth 上に掲載することも可能であるため，少し工夫をすれば野外観察の参加者同士の双方向的な利用へと発展させることもできよう。今後の課題である。

Google Earth よる衛星画像の使用は，野外観察学習の普及やさらなる学習効果が期待できるものであろう。例えば，景観マップを見て，子どもが衛星画像に興味を示し，Google Earth を使えるようになれば,野外観察学習の発展として自主学習を行うことも考えられよう。また，実践した野外観察学習の観察場所や観察地点，コアポイントを記した景観マップや指導案をデータとして保存しておけば，教師間，又は学校間の共有が容易となり，野外観察学習の普及につながるはずである。さらに，野外観察学習の実践例が学習目標や指導内容に応じてカスタマイズされれば，各教育現場に適した実践が可能であろう。
一人でも多くの教師によって野外観察学習が実践され，その情報化によって普及の推進が成されるならば幸いである。

8. 謝辞

本研究において，指導教官である情報教育専修の服部昭尚教授には，研究の内容からデータ解析に関して，様々なご指導を頂きました。同専修の清水雄仁氏，田口加奈子氏，陌間智氏，横山成彦氏，同専修の OB である横山政幸氏には，研究のみならず，様々な面でアドバイスを頂きました。また，同専修の先生方には構想発表会の際に，研究に対する貴重なご指摘やご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

9. 引用文献

株式会社ゼンリン（2011）『住宅地図データと震災後の航空写真画像の比較により復興作業を支援～住宅地図データを無償配信～』，2012 年 1 月 1 日取得（http://www.zenrin.co.jp/news/110415.html）

口分田政博（1994）『滋賀の水鳥　図解ハンドブック』，新学社

斉藤博（2000）『日本の鳥 550 水辺の鳥』，文一総合出版

斎藤博（2005）『1 年で 120 種類の野鳥と出会える本』，文一総合出版

桜井善雄（2003）『川づくりとすみ場の保全』，信山社サイテック

滋賀県自然誌編集委員会（1991）『滋賀県自然誌[本編]』，滋賀県自然保護財団

滋賀県琵琶湖環境部エコライフ推進課（2000）『ヨシ群落保全条例のあらまし』，滋賀県

滋賀県琵琶湖研究所（1986）『琵琶湖岸の景観とはたらき』，滋賀県琵琶湖研究所

鈴木美紀子（2008）『小学校校庭における野外学習の普及と衛星画像の活用－教師のための野鳥観察マニュアルの作成－』，平成 20 年度滋賀大学教育学研究科修士論文，滋賀大学教育部

孝森まさひで（2008）『フィールド版　かも類の観察』，トンボ出版

服部昭尚（2000）『野生動物の生態観察入門』，石上三雄編『生物学フィールド学習』，滋賀大学教育学部生物学教室，pp.113－118.　2012 年 1 月 9 日取得（http://www.edu.shiga-u.ac.jp/~hattori/yagai.html）

中村登流（1995）『原色日本野鳥生態図鑑＜水鳥編＞』，保育社

新村出（2008）『広辞苑 第六版』，岩波書店

日本理科教育学会（1992）『理科教育学講座⑨：情報化社会と理科教育』，東洋館出版社

降旗信一・朝岡幸彦（2006）『自然学習論～豊かな自然体験学習と子どもの未来～』，高文堂出版社

前智（1997）『ラムサール条約登録湿地・琵琶湖内湖の景観構造と機能』，平成 9 年度滋賀大学教育学研究科修士論文，滋賀大学教育部

モニカ G.ターナー・ロバート H.ガードナー・ロバート V.オニール（2004）『景観生態学：生態学からの新しい景観理論とその応用』，文一総合出版

文部科学省（2011）『教育の情報化ビジョン～21 世紀にふさわしい学びと学校の創造を目指して～』，2012 年 1 月 1 日取得（http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/__icsFiles/afieldfile/2011/04/28/1305484_01_1.pdf）

文部科学省（2008）『小学校学習指導要領』，東京書籍

文部科学省（2008）『小学校学習指導要領解説：生活科編』，日本文教出版

文部科学省（2008）『小学校学習指導要領解説：理科編』，大日本図書

柳井久江（2004）『4Steps エクセル統計【第 2 版】』，オーエムエス出版

リチャード B.プリマック・小堀洋美（1997）『保全生物学のすすめ』，文一総合出版

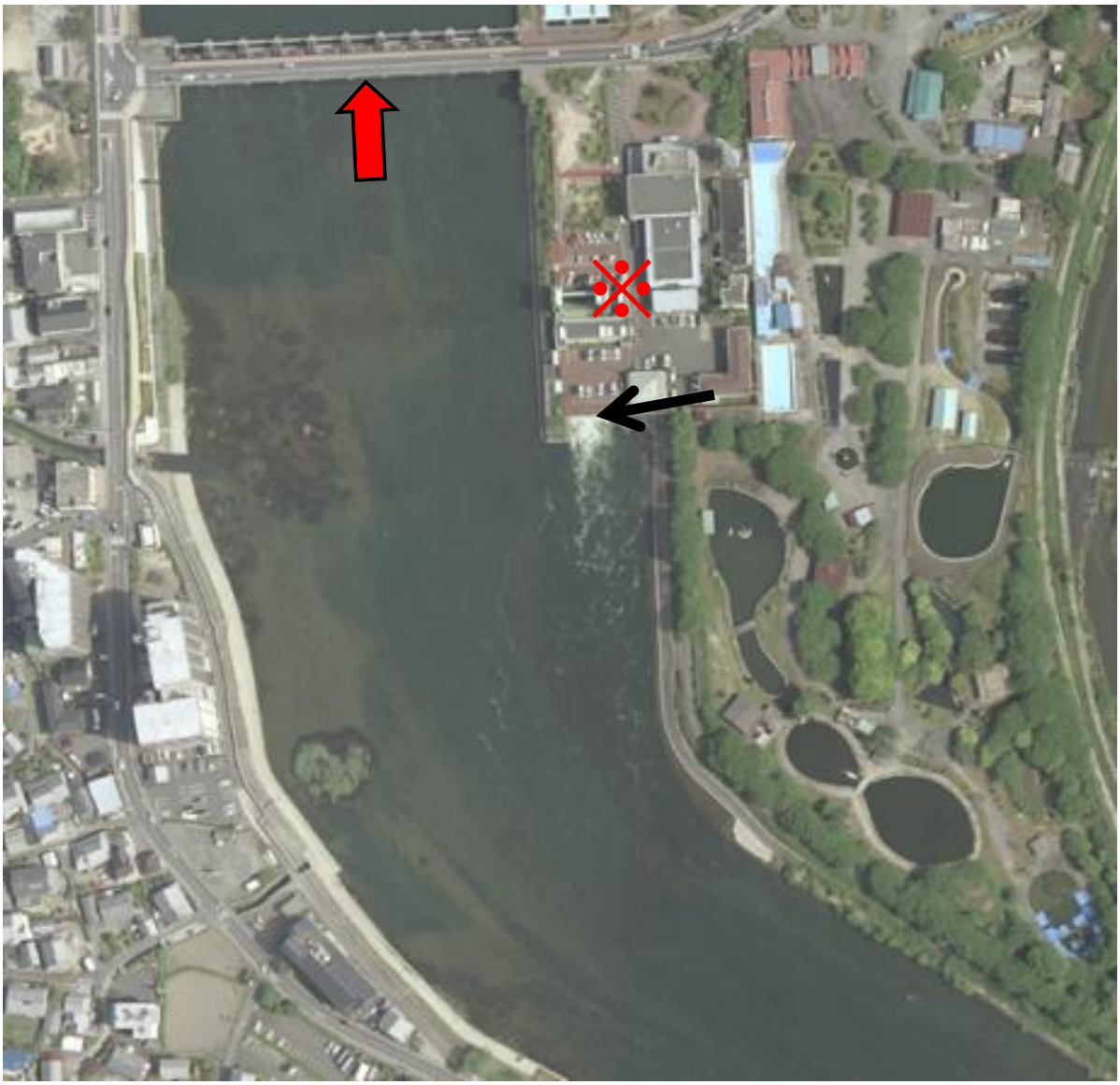

図1. 観察区画全体のデジタル航空写真画像. 黒矢印は瀬田川洗堰のバイパス水路の排水口を示す. 赤矢印は瀬田川洗堰, ※印は琵琶湖河川事務所を示す.

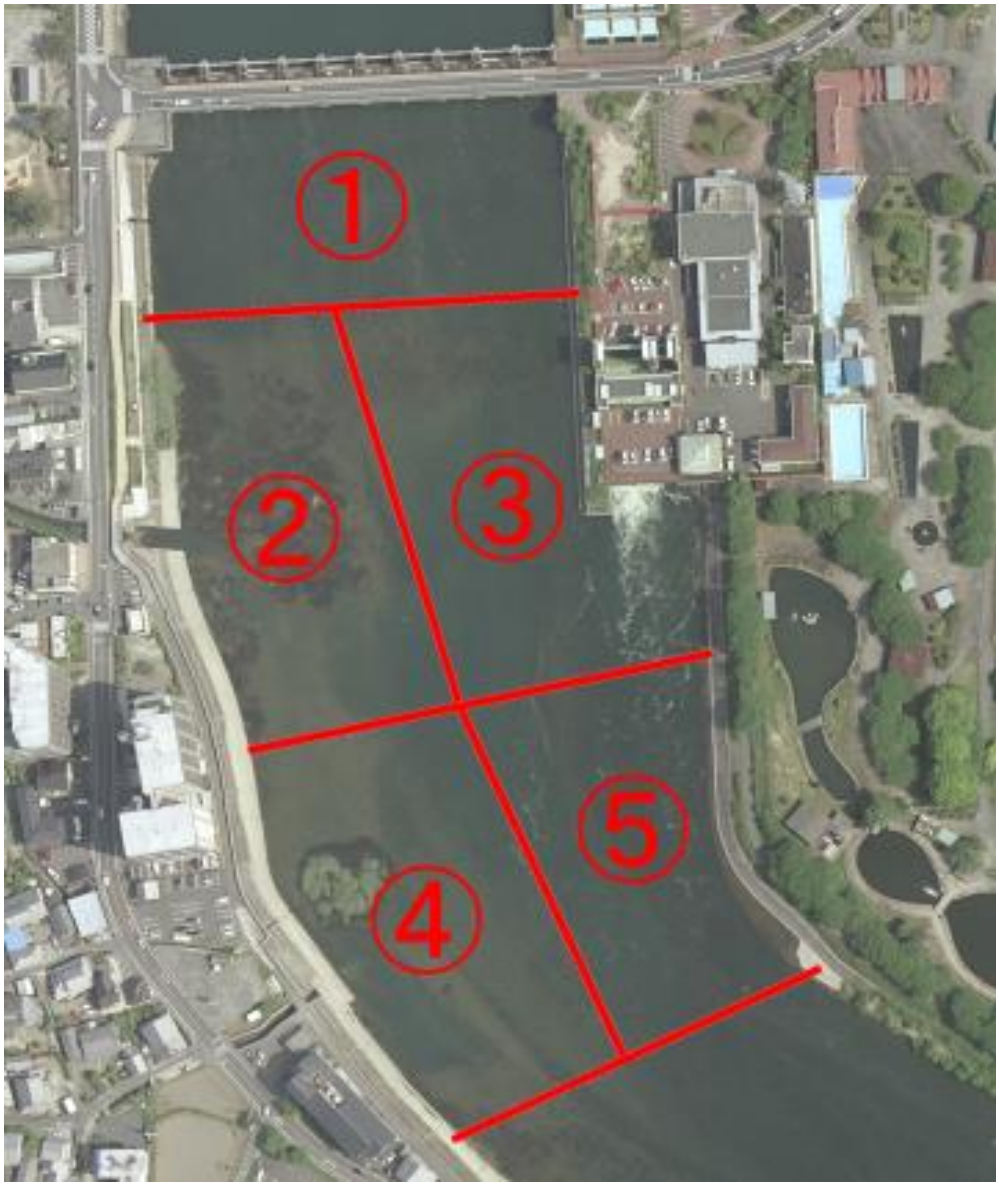

図2. 観察区画の配置. 数字は区画番号を示す.

図3. 区画①の拡大図（観察記録用の景観マップに使用）. 流れが速く, 白波が確認できる（矢印）.

図4. 区画②③の拡大図（観察記録用の景観マップに使用）. 陸地（赤色の矢印）と浅場（黄色の矢印），白波（オレンジ色の矢印）が確認できる. ※印は瀬田川洗堰のバイパス水路の排水口を示す.

図5. 区画④⑤の拡大図（観察記録用の景観マップに使用）. 陸地（赤色の矢印）と浅場（黄色の矢印）, 白波（オレンジ色の矢印）が確認できる。

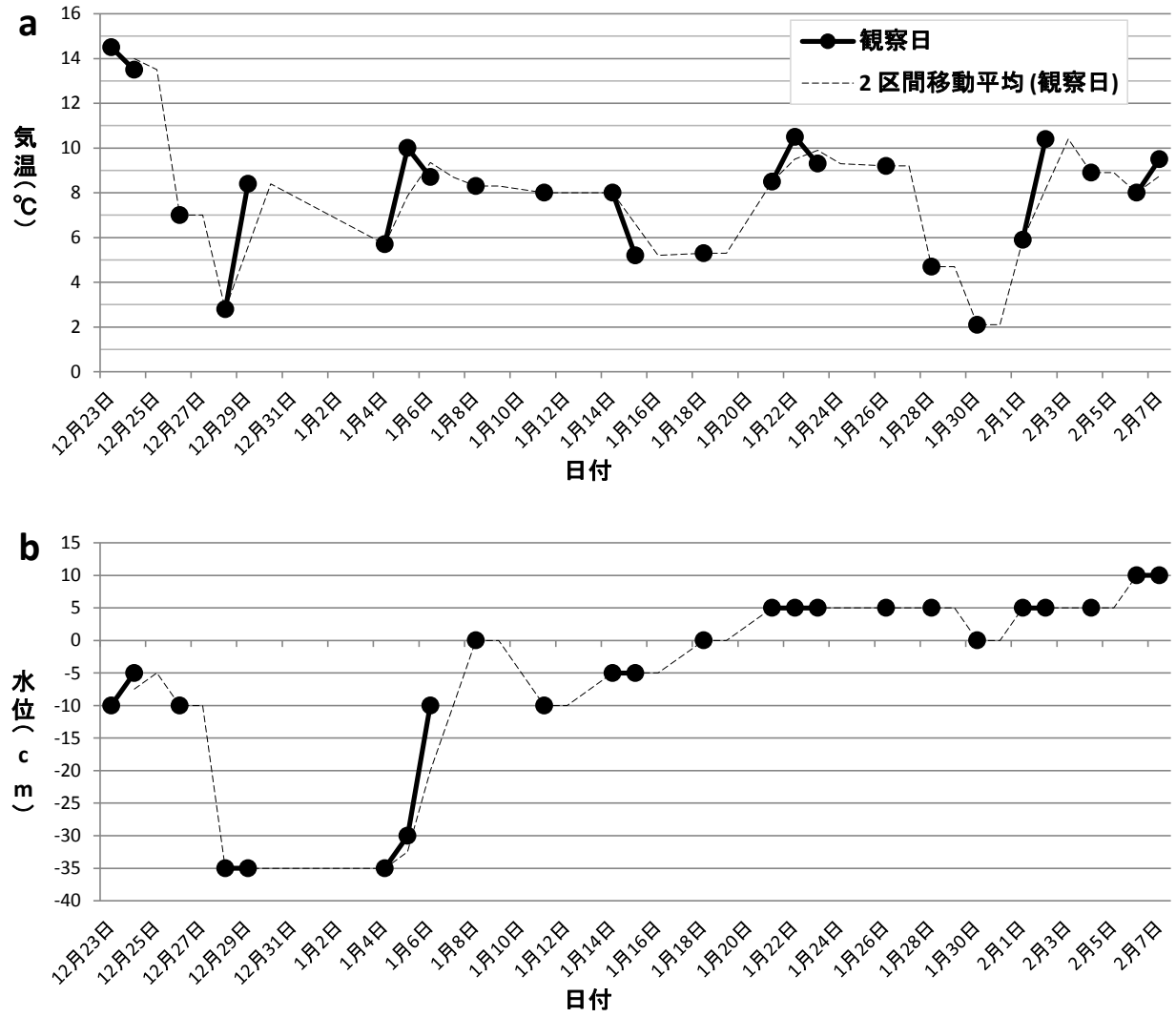

図6. 観察期間中の調査場所での気温（a）と水位（b）の変化. 観察日間の移動平均も示した.

表1. 調査場所の環境（気温・水位）と水鳥の観察データ（出現種数・個体数・多様度指数）との相関分析（ピアソンの相関係数の検定）の結果

組合せ	相関係数	n	t値	P値
気温×種数	0.2169	24	1.0420	0.3087
気温×個体数	0.2685	24	1.3074	0.2046
気温×多様度指数	0.0877	24	0.4131	0.6835
水位×種数	−0.4070	24	−2.0900	0.0484
水位×個体数	0.2017	24	0.9660	0.3445
水位×多様度指数	−0.3929	24	−2.0042	0.0575

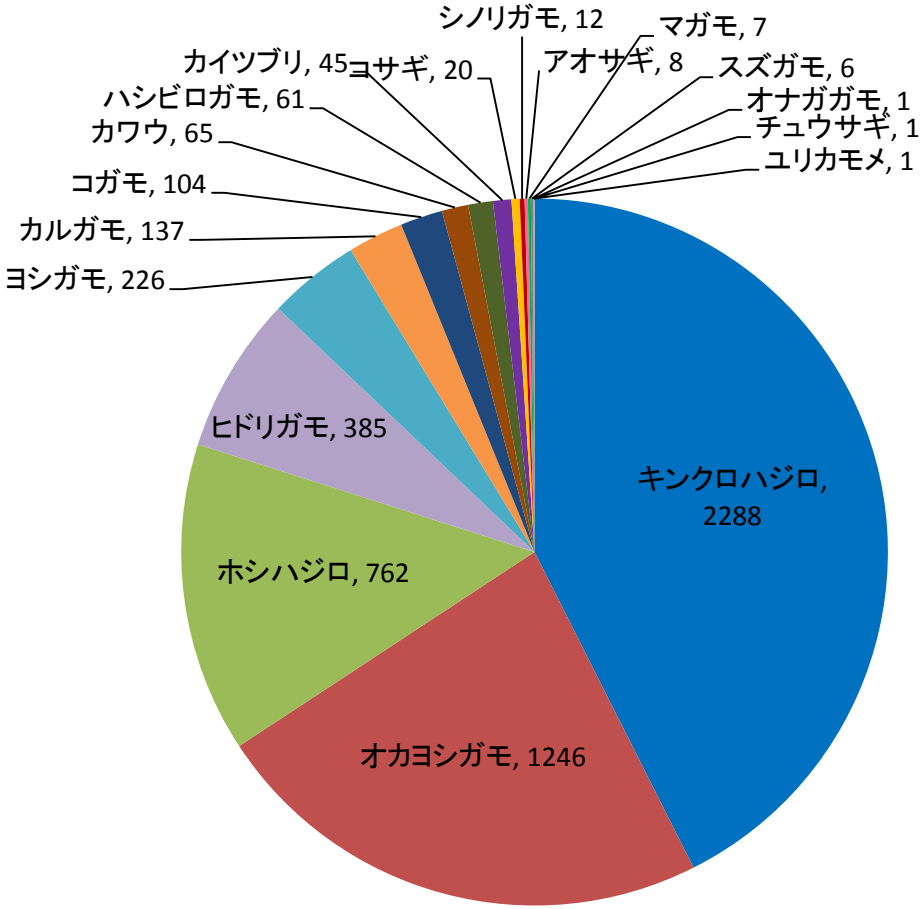

図7. 調査全体で観察された水鳥の種類と個体数

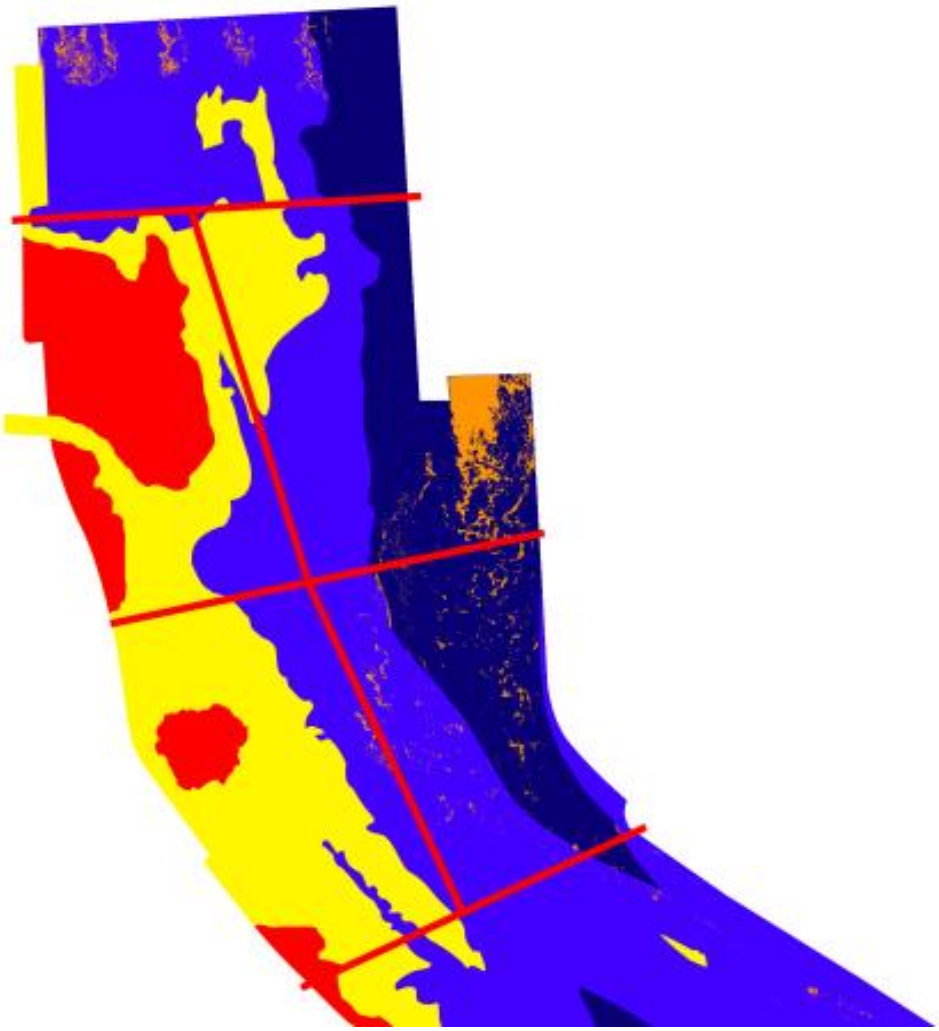

図8. 景観要素別に塗り分けた観察区画. 画像解析のポスタリゼーション機能を用いて大まかに塗り分け, さらに, 現地調査によって得た景観情報から5色に塗り分けた。方法は本文を参照のこと. 赤色が陸地, 黄色が浅場, 藍色が深場, 青色がその他、オレンジ色が白波を示す.

表2. 各区画の景観要素の大まかな割合. 0%, 50%, 50から100%をそれぞれ×, ○, ◎で示した.

区画	陸地	浅場	深場	その他	白波
①	×	○	○	◎	○
②	◎	○	×	○	×
③	×	○	◎	○	○
④	○	◎	×	○	×
⑤	×	×	◎	◎	○

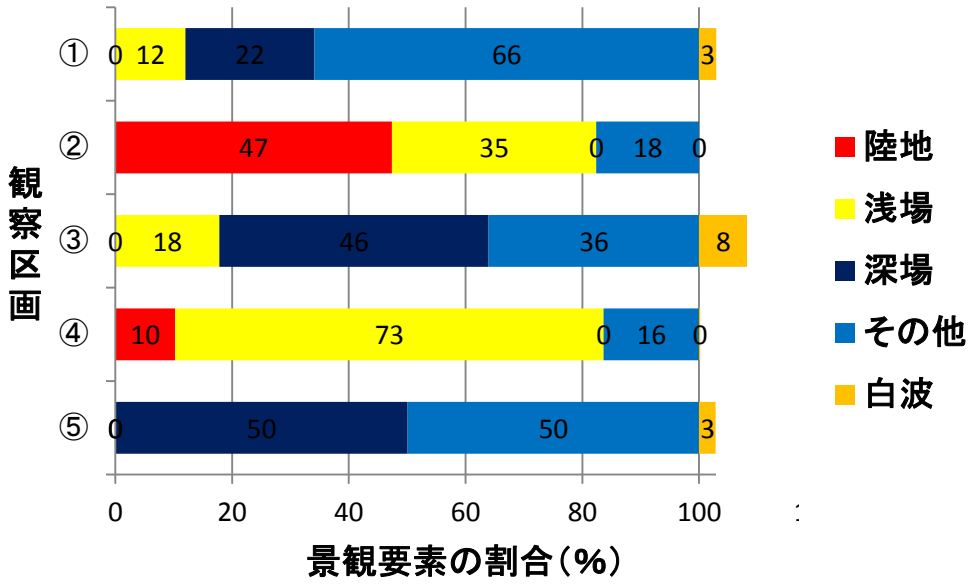

図9. 各区画の景観要素の割合. 但し, 深場とその他の面積は流れの面積(白波)も含むため, 流れの面積は100%の外側に示した。

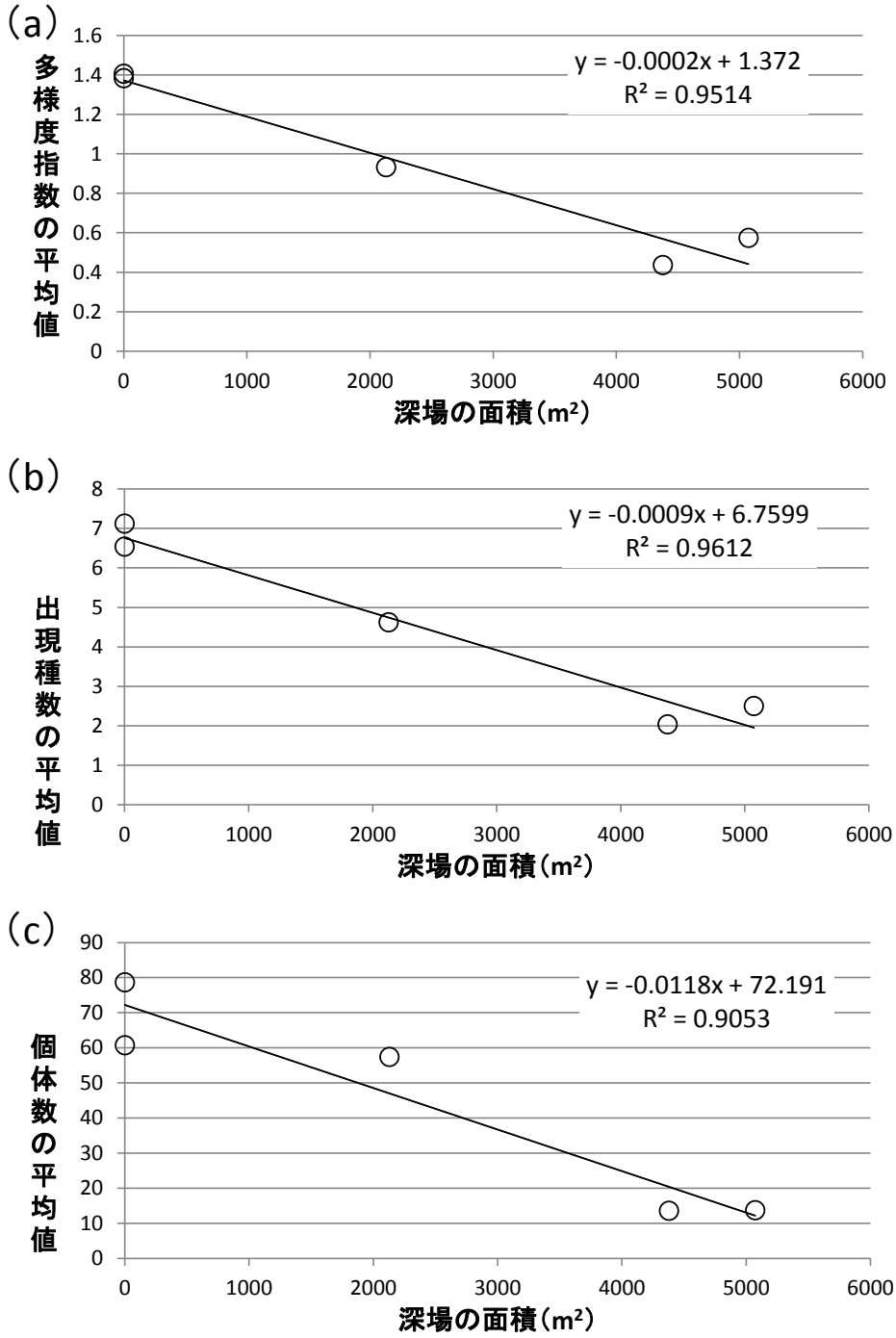

図10. 各区画内の深場面積と多様度指数(a), 出現種数(b), および個体数(c)の平均値の相関関係. 回帰直線とその式, 決定係数(R2)の価を示した.

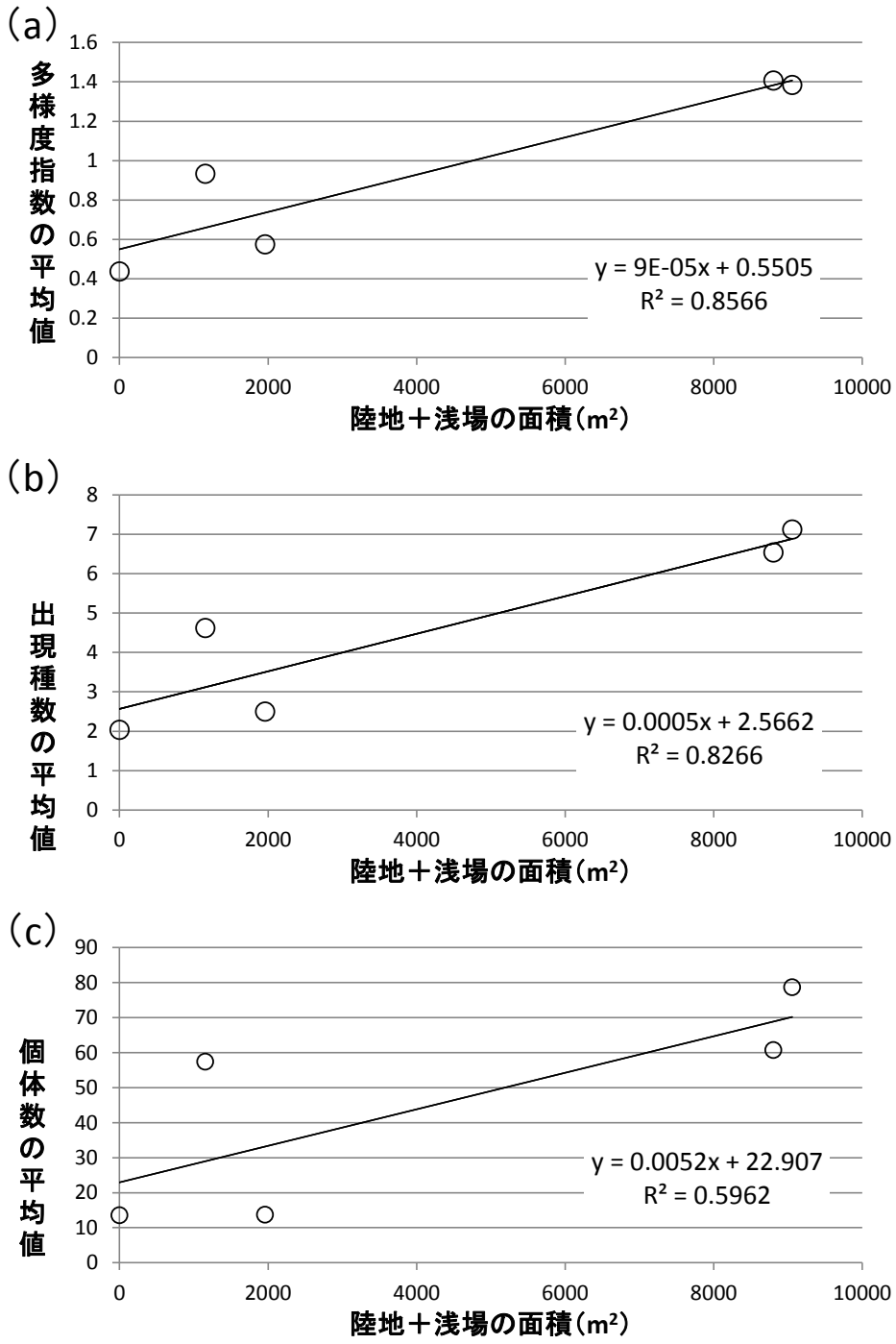

図11. 各区画内の陸地＋浅場面積と多様度指数(a)，出現種数(b)，および個体数(c)の平均値の相関関係．回帰直線とその式，決定係数(R2)の価を示した．

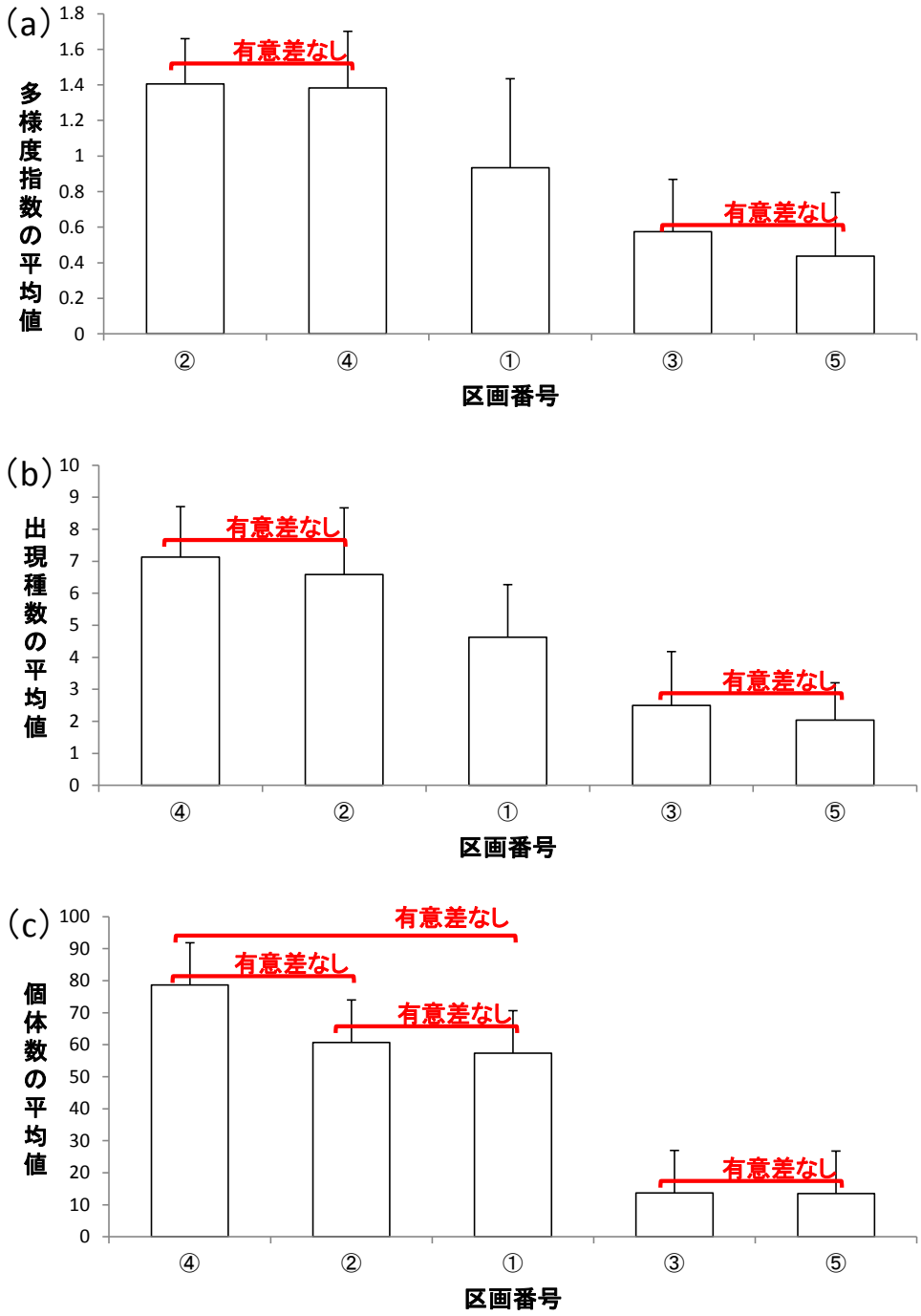

図12. 区画間での多様度指数(a), 出現種数(b), および個体数(c)の平均値の比較. 2区画間の全ての組合せの中で, 有意差が見られなかったもののみ示した. 他は全て高度に有意差あり ($p<0.01$). 標準偏差(上側)も示した.

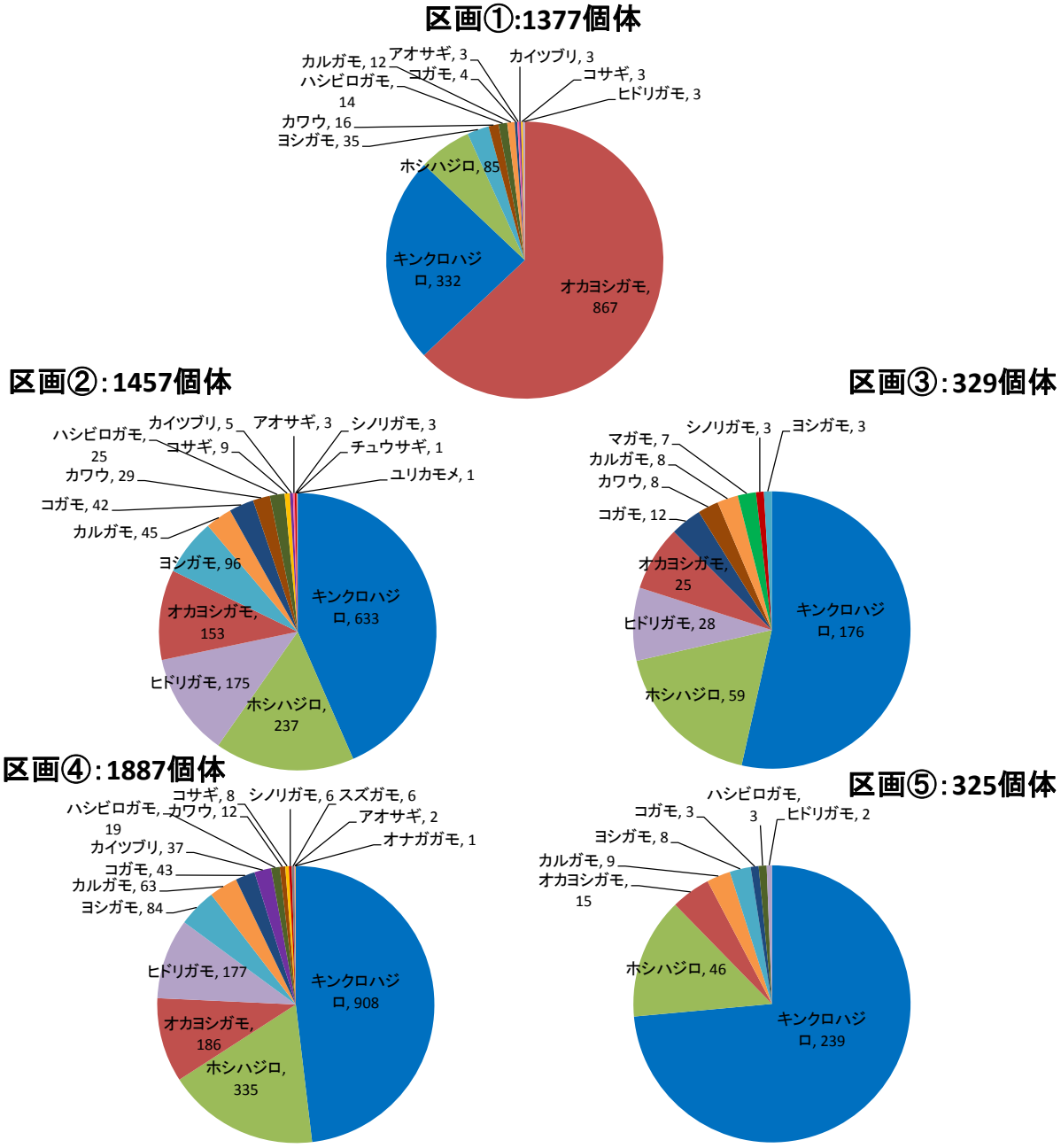

図13. 各区画で観察された水鳥の種類組成. 数字は個体数を示す.

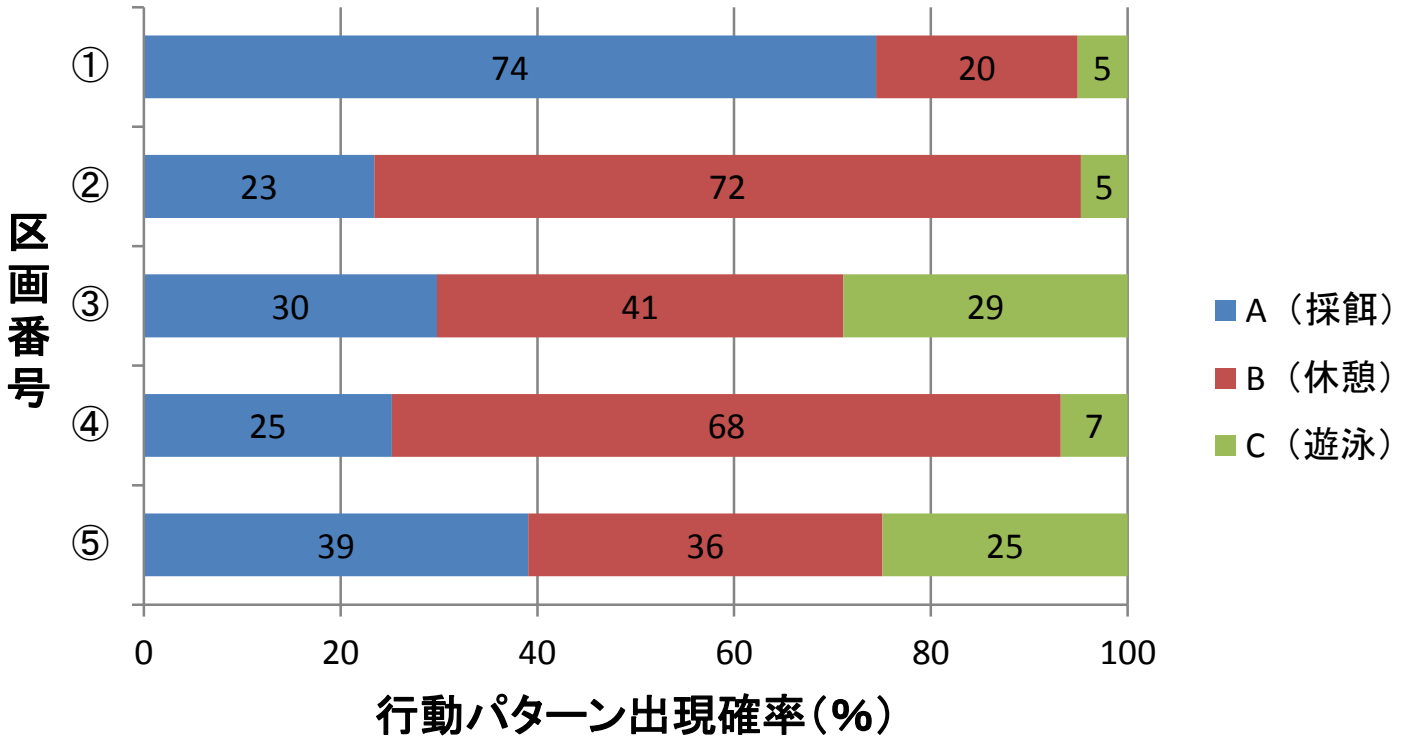

図14. 各区画で水鳥が示す行動パターンの出現確率.　A（採餌）とC（遊泳）の行動パターン以外をB（休憩）とみなした.

表3. 各区画において観察された水鳥の種類と行動パターン別の個体数及びその合計. Aは採餌行動, Bは休憩行動, Cは遊泳行動を示す.

種名	区画①				区画②				区画③				区画④				区画⑤				合計
	A	B	C	合計	A	B	C	合計	A	B	C	合計	A	B	C	合計	A	B	C	合計	
アオサギ	0	2	1	3	0	3	0	3	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	8
オカヨシガモ	803	27	37	867	90	45	18	153	13	0	12	25	138	14	34	186	3	3	9	15	1246
オナガガモ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
カイツブリ	3	0	0	3	3	0	2	5	0	0	0	0	24	4	9	37	0	0	0	0	45
カワウ	10	5	1	16	4	23	2	29	4	4	0	8	5	6	1	12	0	0	0	0	65
カルガモ	2	10	0	12	20	25	0	45	6	0	2	8	37	18	8	63	0	0	9	9	137
キンクロハジロ	140	172	20	332	46	580	7	633	49	75	52	176	103	785	20	908	110	80	49	239	2288
コガモ	0	4	0	4	32	7	3	42	6	6	0	12	35	8	0	43	1	0	2	3	104
コサギ	0	3	0	3	1	8	0	9	0	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	20
シノリガモ	0	0	0	0	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	3	6	0	0	0	0	12
スズガモ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6	0	0	0	0	6
チュウサギ	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
ハシビロガモ	6	8	0	14	4	20	1	25	0	0	0	0	15	4	0	19	0	3	0	3	61
ヒドリガモ	1	0	2	3	95	61	19	175	11	0	17	28	39	113	25	177	0	2	0	2	385
ホシハジロ	37	42	6	85	23	204	10	237	9	40	10	59	57	270	8	335	13	23	10	46	762
マガモ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7
ユリカモメ	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
ヨシガモ	23	9	3	35	23	66	7	96	0	3	0	3	23	41	20	84	0	6	2	8	226
合計	1025	282	70	1377	341	1047	69	1457	98	136	95	329	476	1283	128	1887	127	117	81	325	5375

(a)

(b)

(c)

図15. Google Earthによる衛星画像(a). Googleマップによる地図画像(b). ストリートビュー(c).

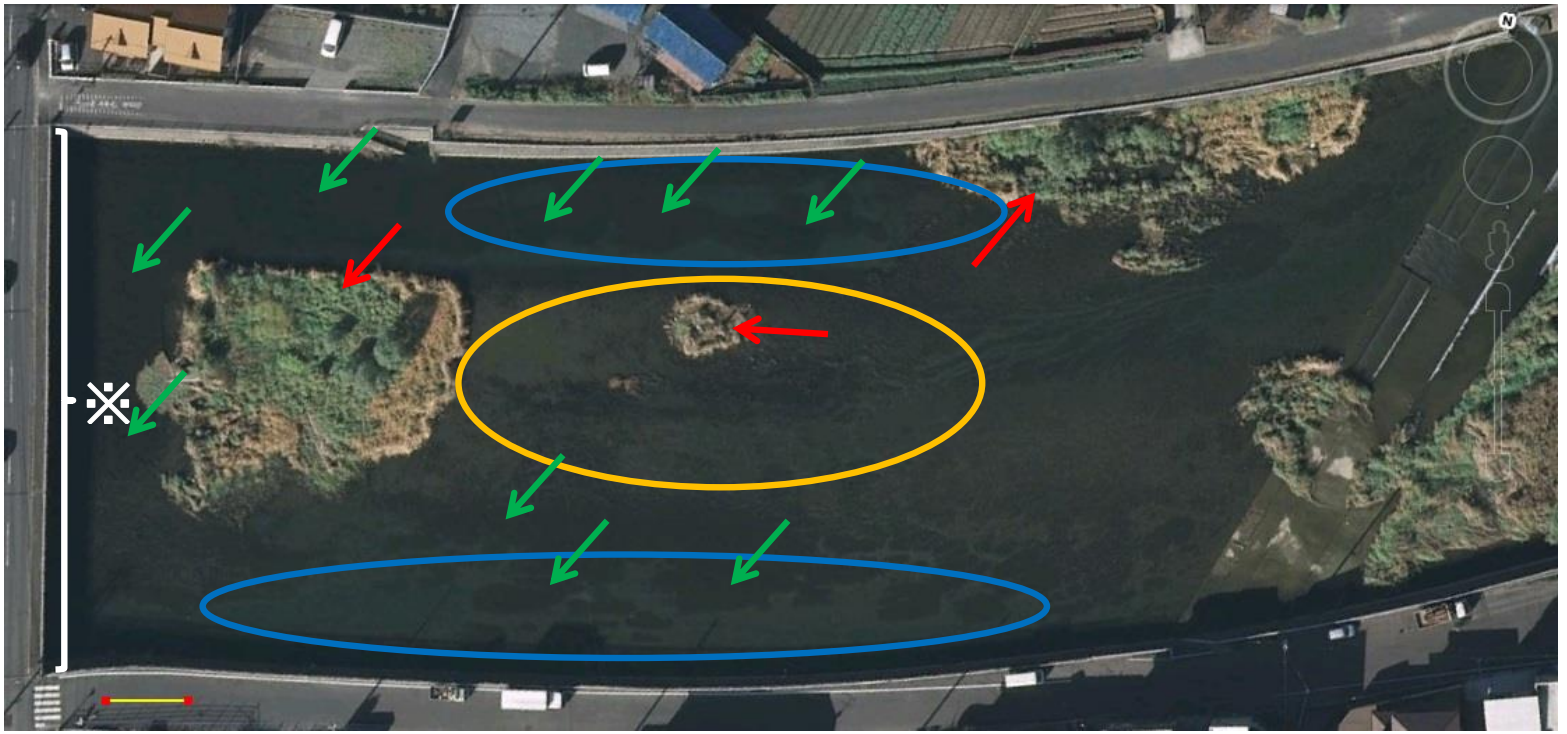

図16. 候補地④の景観マップ. 赤色の矢印は「陸地」を示す. オレンジ色の囲みは「浅場」, 青色の囲みは「その他」を示す. 緑色の矢印は沈水植物を示す. 「その他」の水域では, 沈水植物の有無が色彩の違いによって明確に確認できる. ※印は観察地点となり得る橋を示す.

図17. マッピングの例. 図は, 候補地④において2012年12月30日に記録したものを使用した. × 印は水鳥の存在位置を示す. × 印の色は水鳥の種類を示す. 青色はバン, 紫色はオオバン, 紅色はヒドリガモ, 赤色はカイツブリ, 白色はアオサギ, 灰色はコサギを示す.

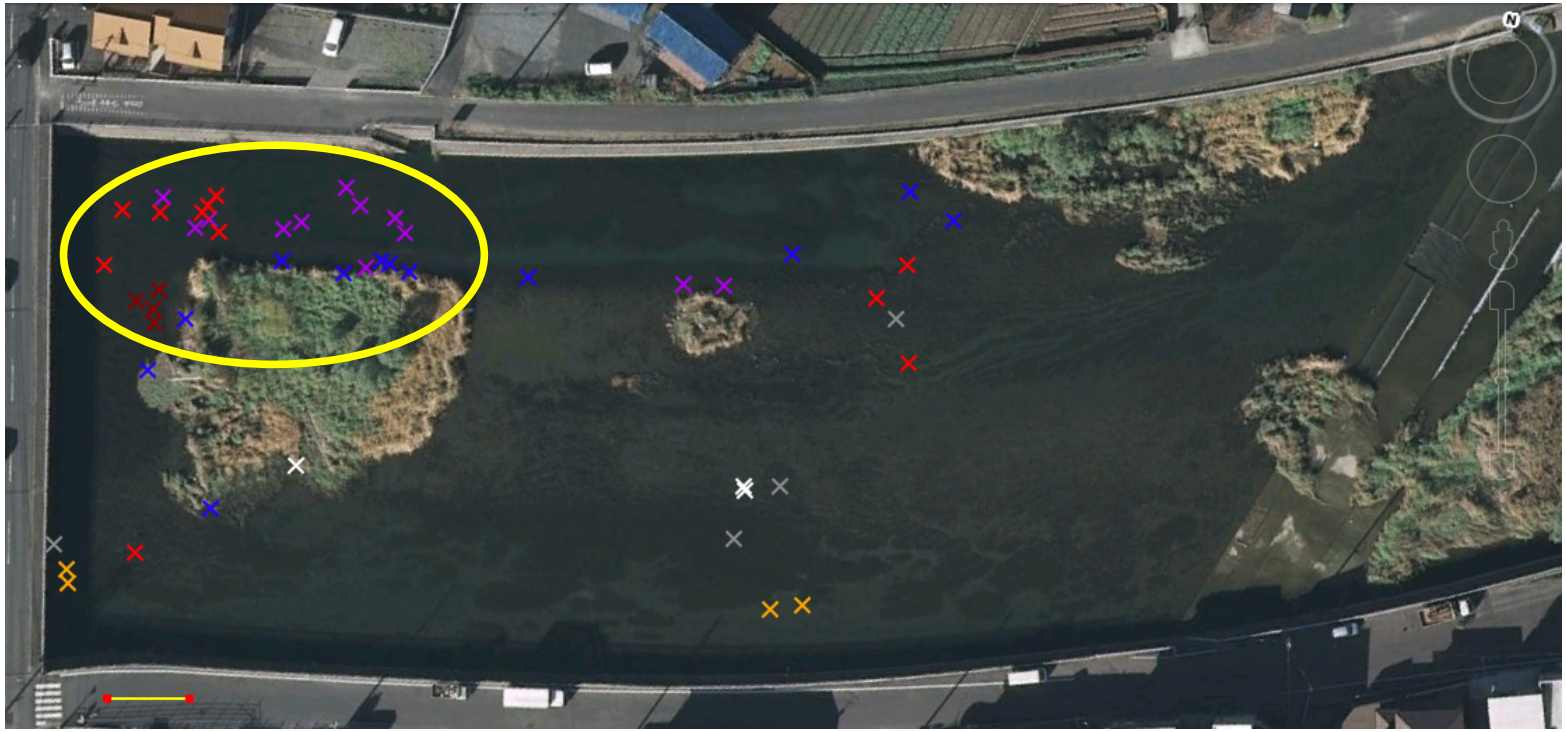

図18. 景観マップの重ね合わせによるコアポイントの特定（候補地④）. マッピングした景観マップを複数重ね合わせることにより，水鳥が多く出現した地点に×印が集中するため，コアポイントとなる地点が簡単に判別できる. 黄色の囲みはコアポイントを示す.

(a)

(b)

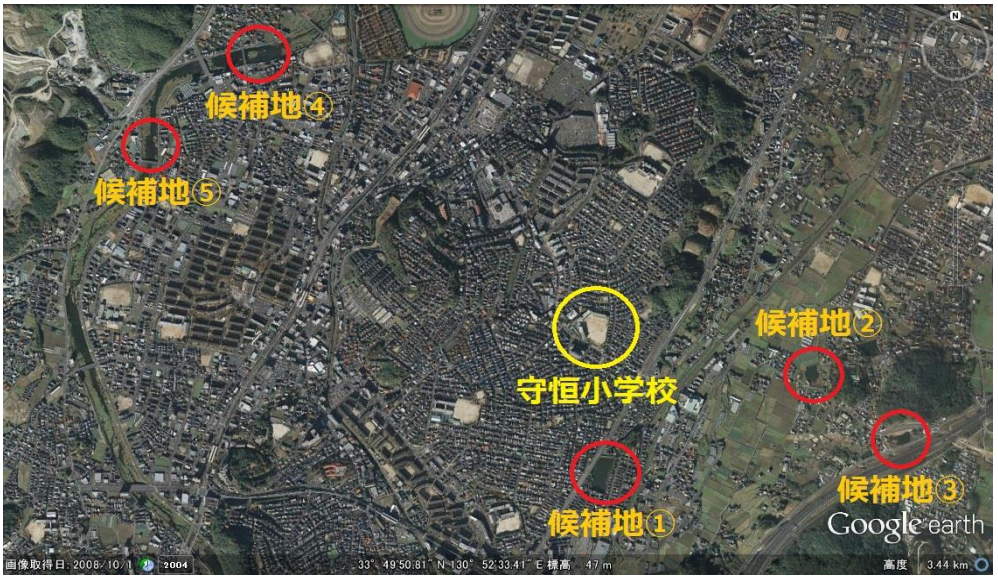

図19. 手順(1)において発見した水域(a). 手順(2)において選定した5か所の候補地(b).

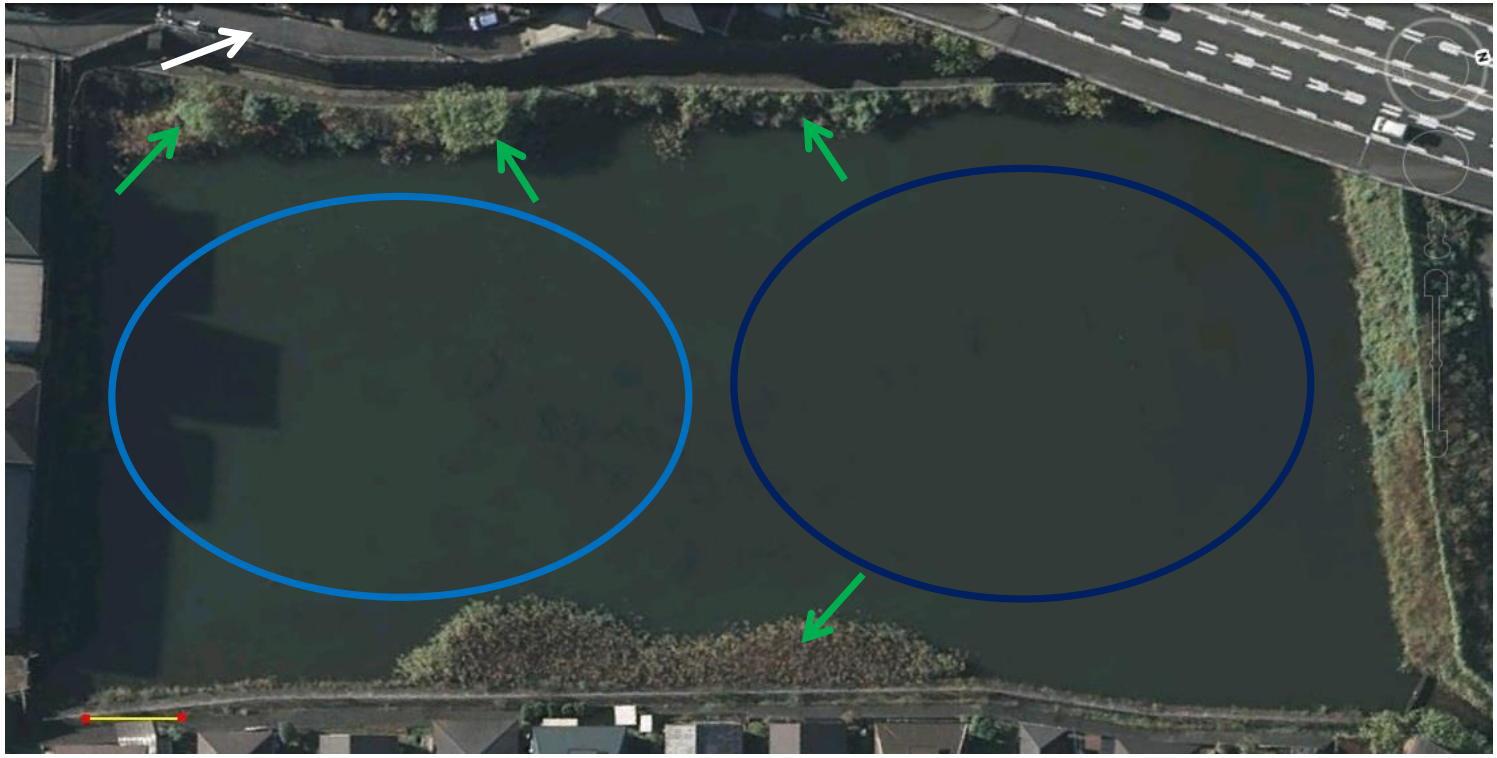

図20. 候補地①の景観マップ. 青色の囲みは「その他」, 藍色の囲みは「深場」を示す. 緑色の矢印はヨシ群落や木々等の植生を示す. 白色の矢印は, 観察地点となり得る道路を示す.

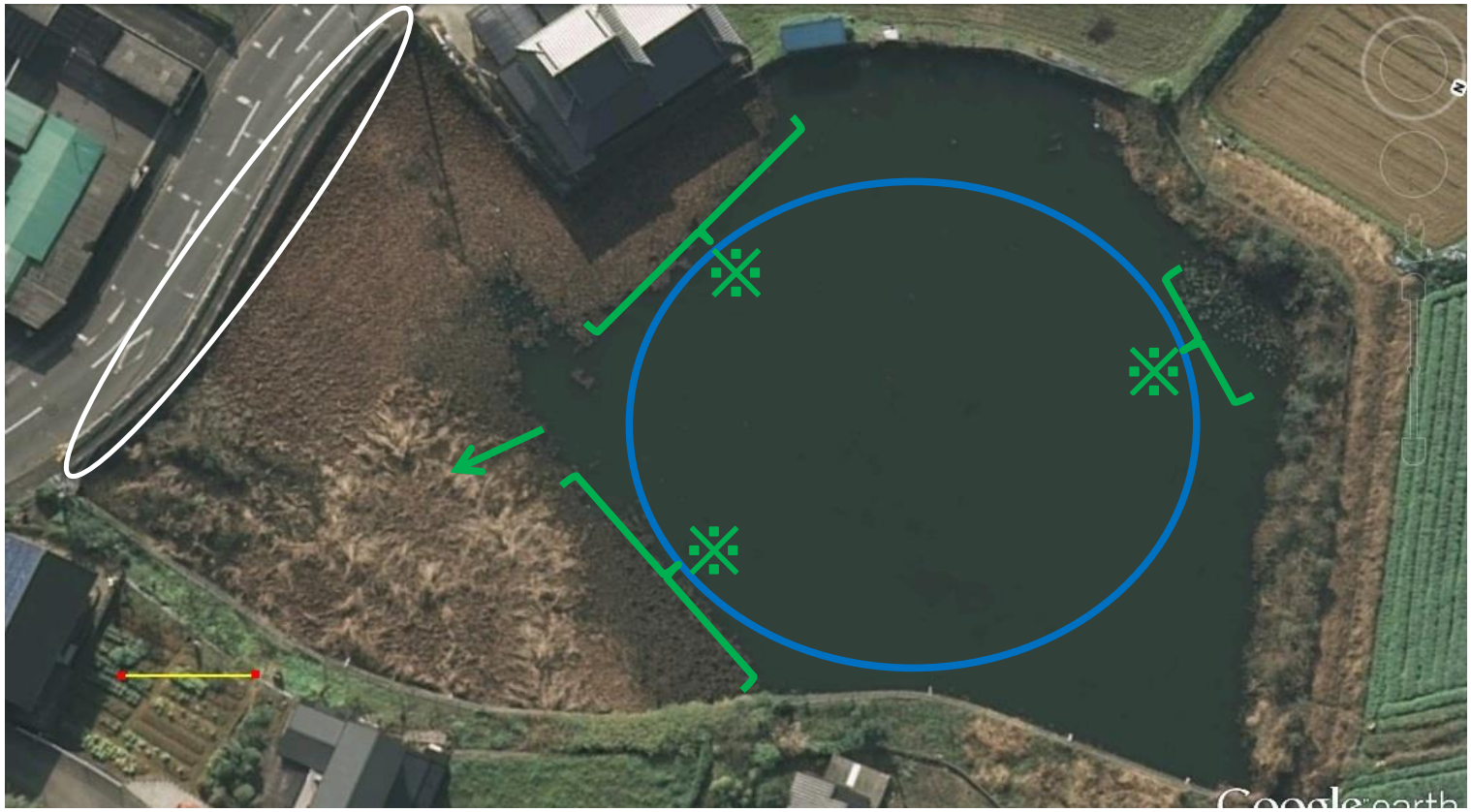

図21. 候補地②の景観マップ. 青色の囲みは「その他」を示す. 緑色の矢印はヨシ群落等の植生を示す. ※は浮葉植物を示す. 白色の囲みは, 観察地点となり得る道路の歩道を示す.

図22. 候補地③の景観マップ. オレンジ色の囲みは「浅場」, 青色の囲みは「その他」を示す. 緑色の矢印はヨシ群落を示す. ※は観察地点となり得る広場を示す.

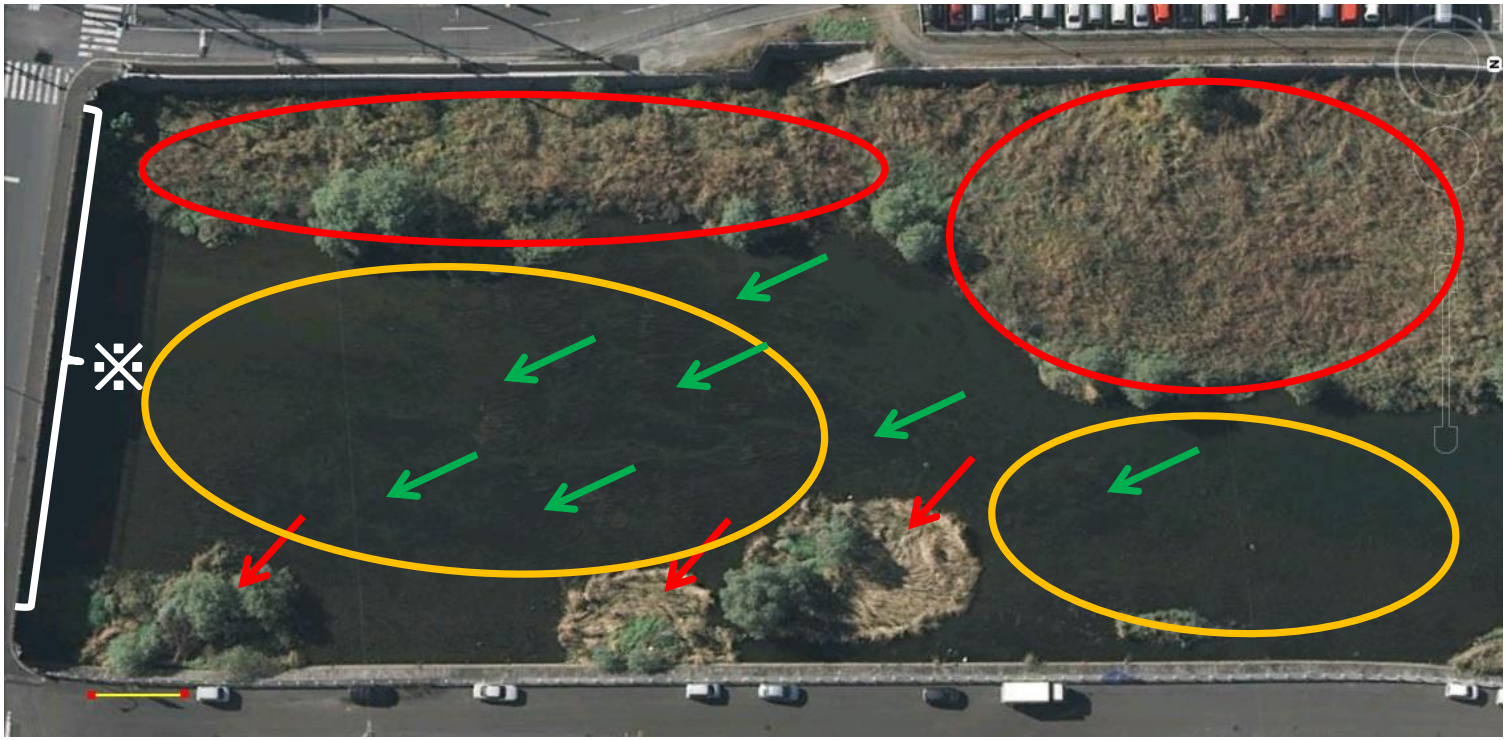

図23. 候補地⑤の景観マップ. 赤色の矢印と囲みは「陸地」を示す. オレンジ色の囲みは「浅場」を示す. 緑色の矢印は沈水植物を示す. ※は観察地点となり得る橋を示す.

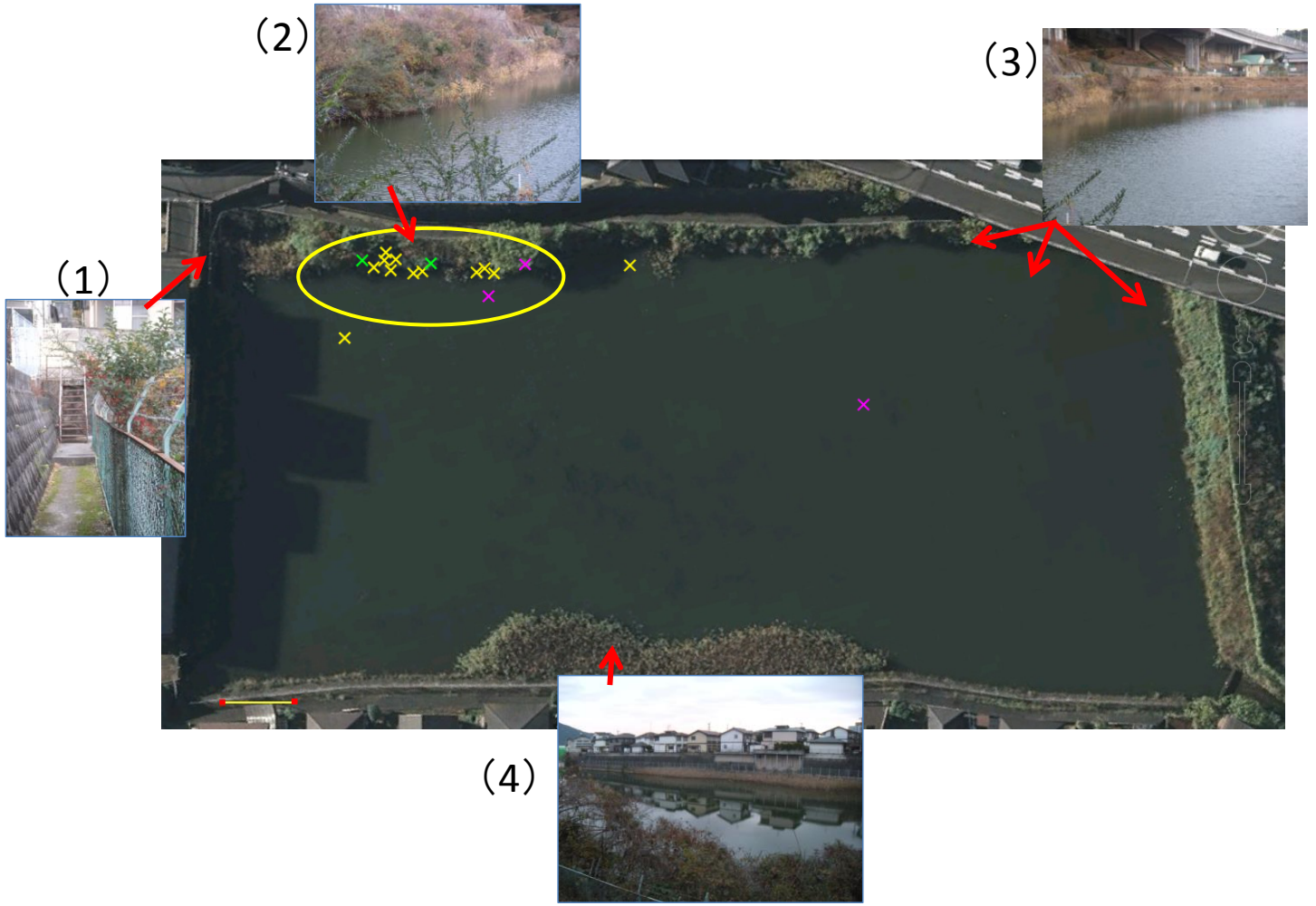

図24. 候補地①の実地調査の結果．（1）は観察地点とした池の脇にあった小道．小道に降りる階段があり，安全性は高かった．（2）はコアポイントに定めた地点．ヨシや木々が群生していた．（3）はため池の北西部の写真．（4）は小規模なヨシ群落．黄色の囲みはコアポイントを示す．×印は水鳥の存在位置を示す．×印の色は水鳥の種類を示しており，黄色はカイツブリ，ピンク色はバン，黄緑色はカワセミを示す．

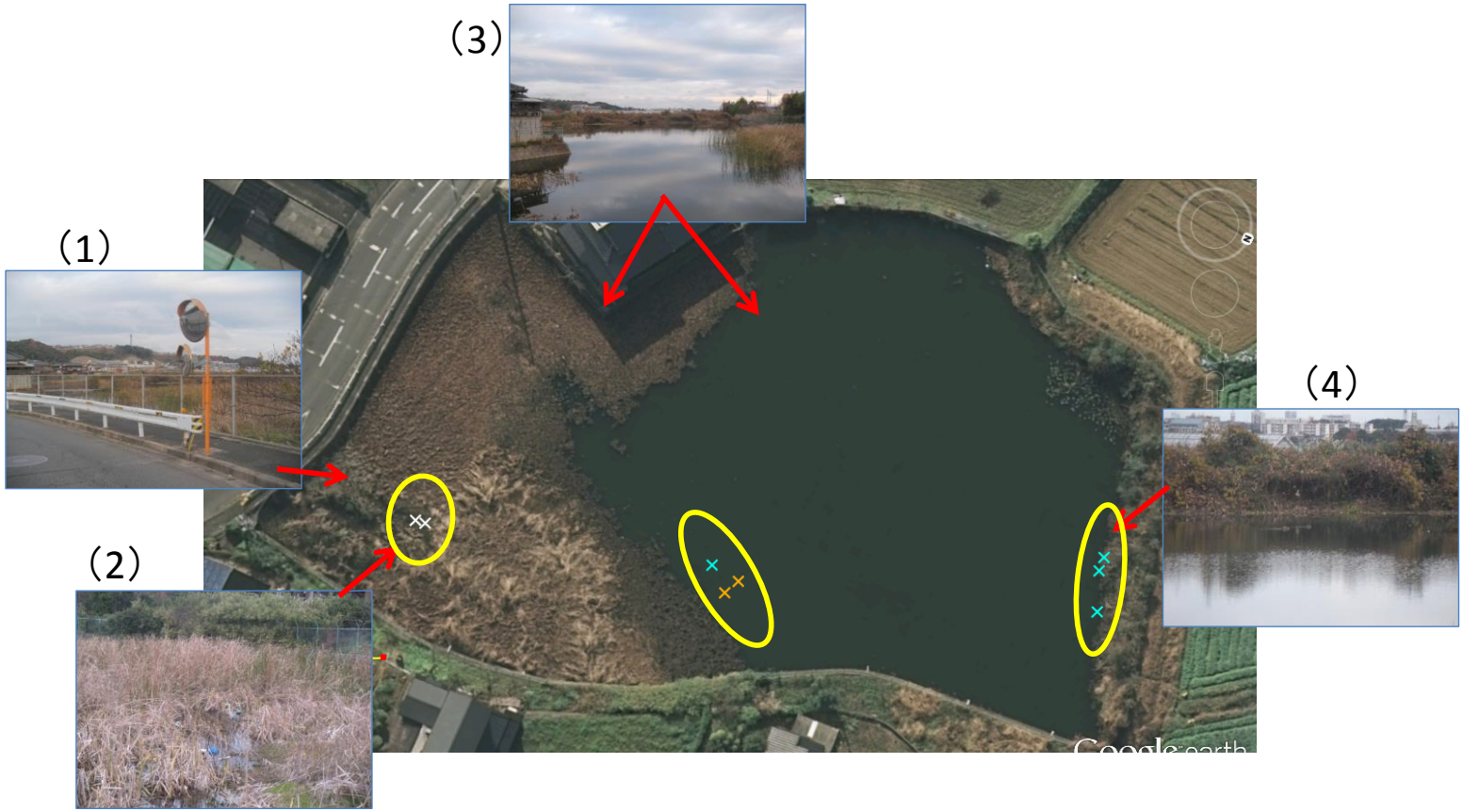

図25. 候補地②の実地調査の結果. (1)は観察地点とした池の南に位置する道路. ガードレールに守られた歩道があった. (2)は大規模なヨシ群落の一部. ヨシ群落の中にアオサギが確認できた. (3)は観察地点から見た池全体. 対岸までかなり距離があった. (4)はコアポイントに定めた地点. 浮葉植物が確認できた. 黄色の囲みはコアポイントを示す. ×印は水鳥の存在位置を示す. ×印の色は水鳥の種類を示しており, 水色はヨシガモ, 白色はアオサギ, オレンジ色はオカヨシガモを示す.

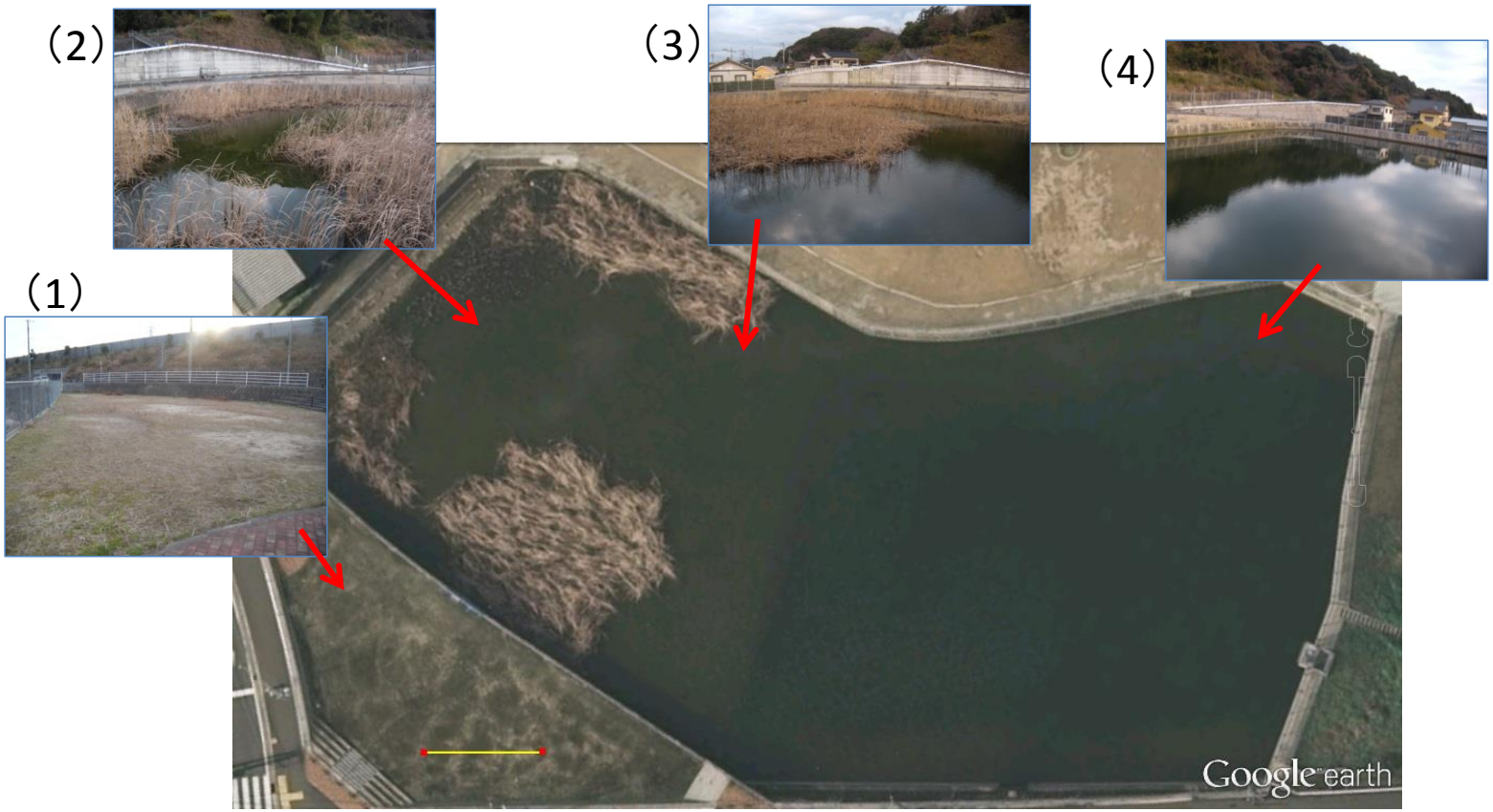

図26. 候補地③の実地調査の結果. (1)は観察地点とした広場. (2), (3)は中規模なヨシ群落の一部. (4)は池の東側の様子. 池は道路に囲まれているため, (1)から(4), 全てにおいて道路が確認できる.

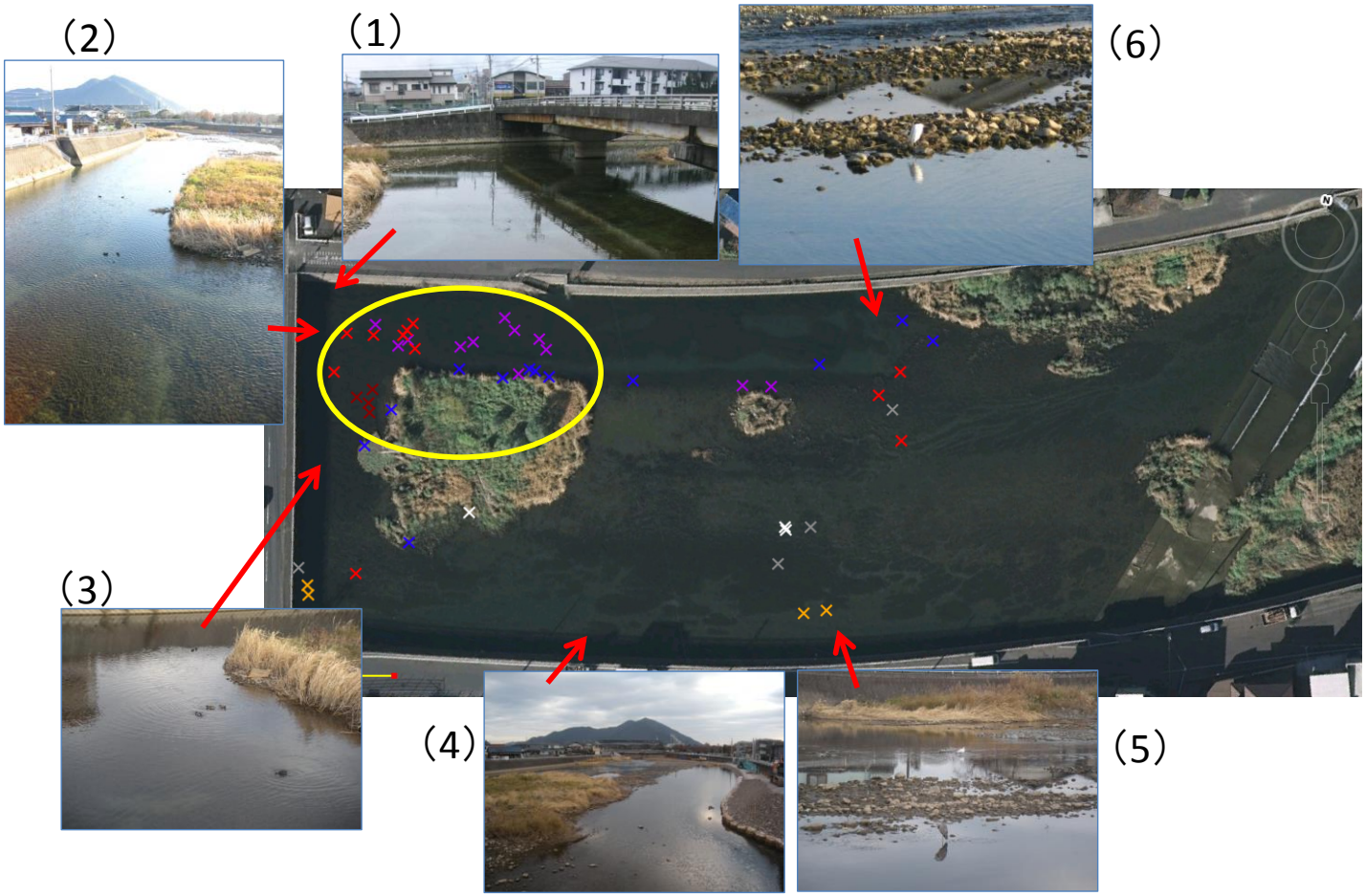

図27. 候補地④の実地調査の結果. (1)は観察地点とした橋. (2), (3)はコアポイントに定めた地点. クロモと思われる沈水植物が明確に確認でき, オオバンやヒドリガモが採餌していた. (6)は候補地全体の様子. 陸地と浅場が広がっている. (5), (6)は浅場が干出した部分においてコサギやアオサギが休憩している様子. 黄色の囲みはコアポイントを示す. × 印は水鳥の存在位置を示す. × 印の色は水鳥の種類を示しており, 赤色はカイツブリ, 紫色はオオバン, 青色はバン, 紅色はヒドリガモ, オレンジ色はカルガモ, 白色はアオサギ, 灰色はコサギを示す.

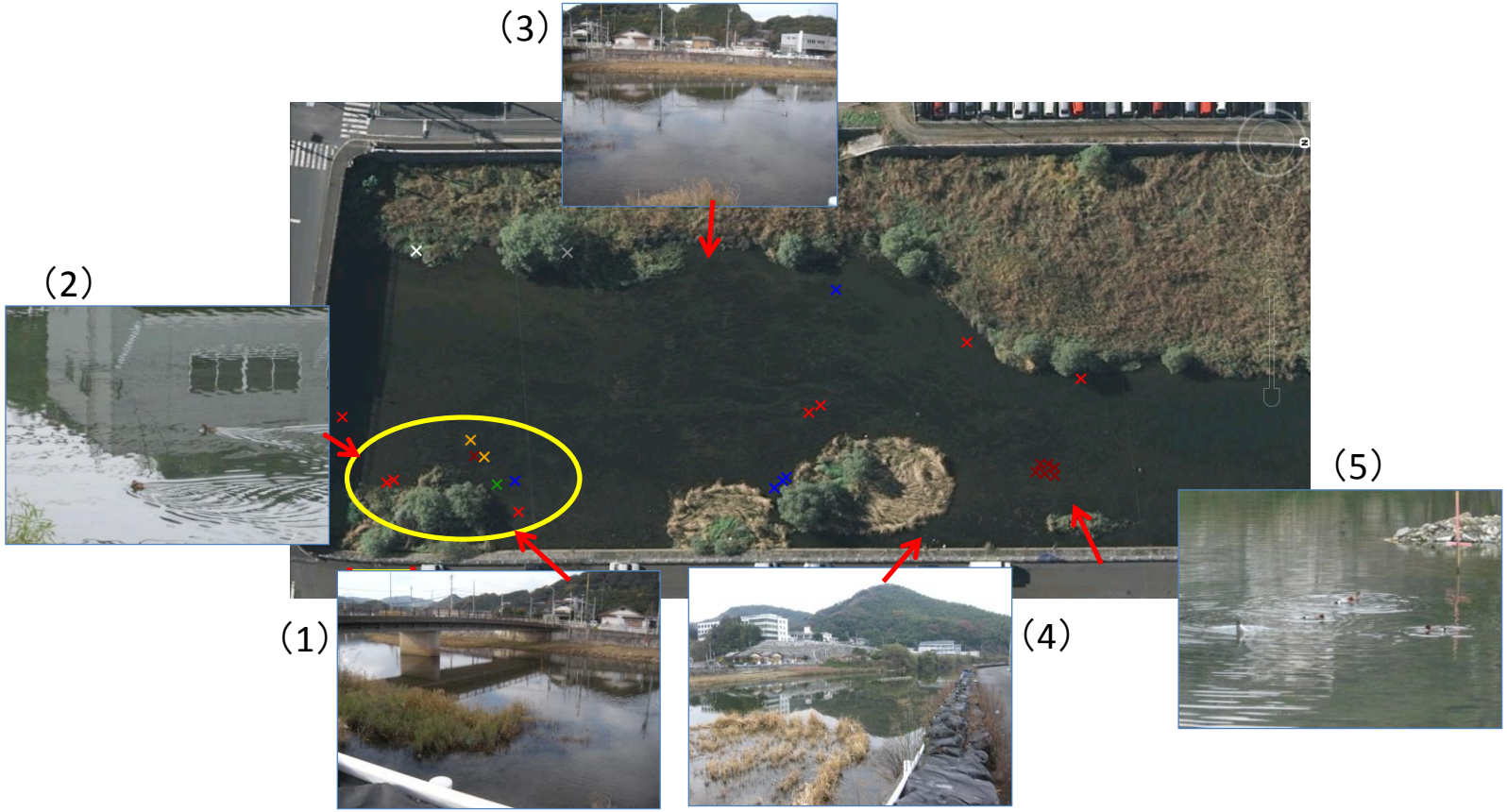

図28. 候補地⑤の実地調査の結果. (1)は観察地点とした橋とコアポイントに定めた地点. (2)はコアポイントにおいてみられたカイツブリの番. (3)から沈水植物が明確に確認できるが, 種類は判別できなかった. (4)は候補地全体の様子. 陸地と浅場が広がっている. (5)は沈水植物を採餌しているヒドリガモの様子. 黄色の囲みはコアポイントを示す. × 印は水鳥の存在位置を示す. × 印の色は水鳥の種類を示しており, 赤色はカイツブリ, 紅色はヒドリガモ, 青色はバン, オレンジ色はカルガモ, 緑色はマガモ, 白色はアオサギ, 灰色はコサギを示す.