

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：32634

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01390

研究課題名(和文)高山地域のジオダイバーシティが生物多様性創出に果たす役割

研究課題名(英文)The role of geodiversity in development of biodiversity in mountain regions

研究代表者

高岡 貞夫 (Takaoka, Sadao)

専修大学・文学部・教授

研究者番号：90260786

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：ジオ多様性(非生物的自然の多様性)と生物多様性の関係について、中部山岳地域の山地池沼を事例に検討した。水生昆虫は微地形に対応する池沼の成因に結びついたジオ環境の違いによって種レベルの多様性が創出され、小・中スケールの地形が遺伝子レベルの多様性の創出にかかわっていることが明らかになった。また、珪藻は微地形に対応する池沼の成因と結びついたジオ環境の違いだけでなく、小・中スケールの地形による分散の阻害の影響も受けて、種相当レベルの多様性が成立していることが示唆された。これらの違いの背景には、両者の分散能力の違いが関係していると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究のように流域スケール(中地形から微地形のスケール)において、自然地理学的环境やその多様性と結び付けて生物多様性の形成過程を理解することは、主に大陸スケールや日本列島スケールで行われてきた生物系統地理学の研究成果を成因論的な面から裏付けることに資するとともに、生物多様性の保全計画の立案やジオパークに代表される環境教育などの諸活動に対しても貢献しうるものである。

研究成果の概要(英文)：The relationship between geodiversity and biodiversity was examined in mountain ponds in Nagano Prefecture, Japan. The results showed that species-level diversity of aquatic insects is created by differences in geo-environments linked to the origin of ponds corresponding to micro-landforms, and that landforms at the small and medium scales are involved in the creation of genetic diversity. The results also suggest that species-level diversity of diatoms is established not only by differences in geo-environments linked to the formation of ponds corresponding to micro landforms, but also by the effects of barriers to dispersal by small- and medium-scale landforms. These differences may be related to differences in their dispersal abilities.

研究分野：自然地理学

キーワード：ジオ多様性 生物多様性 高山地域 野生動物 生物系統地理学

## 1. 研究開始当初の背景

1990年代末に生まれたジオ多様性という概念は、その後理論面と応用面の双方で徐々に発展を遂げてきた。ジオ多様性が生物多様性を考える上で重要であることが早い時期から指摘され、実際に両者の間に対応関係が認められることを指摘する研究が多数なされてきた。しかし、どのようなメカニズムでジオ多様性が生物多様性の形成に関わるのかについては、依然として未解明の部分が多いとの指摘がある。この原因の一つには、ジオ多様性と生物多様性の関係がマクロスケールの分析に偏り、メソおよびミクロな観点も含めた系統的な研究がなされていないことにある。従来研究ではメッシュデータ等を用いた広域的検討(大陸規模、国土規模)が多いため、ジオ多様性の構造やプロセスが生態学的機能とどのように結びついているのかに関する理解はきわめて限定的である。ジオ多様性がどのように生物多様性を高めているのかをより具体的かつ系統的に知る必要がある。

本研究では、ジオ多様性と生物多様性の関連性の研究を進めるにあたり、高山帯・亜高山帯に点在する小規模な池沼に着目する。高山地域の湖や池は山岳生態系を構成する重要な要素の一つである。寒冷で厳しい環境にありながら多様な種が生息し、池沼間の生物相の不均質性も高いことが指摘されている。しかし従来研究は面積が10000~100000 m<sup>2</sup>程度の大型のものが主な研究対象とされ、本研究で対象とするような1000 m<sup>2</sup>以下の小規模な池沼については重要視されてこなかった。

中部山岳地域の高山帯・亜高山帯には1000m<sup>2</sup>以下の池沼が点在するが、このような池沼は大型の池や湖に比べて、より密度高く分布する。水域の存在が限られている高山地域においては、これらの小さな池沼が水生動植物の重要な生息・生育場所を提供するほか、陸生の動物にとっても利用価値の高い空間であると考えられるが、これらの池沼は地理学(地形学や水文学)においても生物学においてもほとんど注目されることがなかった。そこで本研究は高山池沼に着目して、寒冷環境下における生物多様性の特性がジオ多様性の構造やプロセスとどのような関係にあるのかを解明することを目指す。研究代表者らのこれまでの研究により、当初の予想通り水生昆虫類や珪藻類などに種あるいは遺伝子のレベルで多様性が形成されていることが解明されつつあるが、それらとジオ多様性との連関についての探求を深めていく必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究は上述の問題意識のもとに、山岳地域の池沼を対象に、ジオ多様性と生物多様性の関係を空間スケール別に理解することを目的とする。具体的には、まず、これまで研究代表者らが行ってきた研究の成果や既存文献の整理によって、ジオ多様性と生物多様性の関係を理論的に整理する。次に、高山池沼を対象にした現地調査を実施し、種レベルおよび遺伝子レベルの多様性が形成されるメカニズムとジオ多様性との関係を解明する。また、地すべり地形に着目して重点調査地区を設け、地すべり地内に形成される池沼間の特質の違いや、地すべり地内の池沼以外の多様な環境との関係を検討することにより、ジオ多様性の特質が生物多様性の形成に果たす役割を明らかにする。

## 3. 研究の方法

北アルプス南部、梓川上流域の高山帯および亜高山帯上部に分布する池沼を対象に、消雪過程、水温・水質・水位の季節変化を計測した。水生昆虫を主とする水生動物については池沼ごとの出現種を記載するとともに、採取した試料を実験室に持ち帰り、遺伝子解析を行った。珪藻については池底に堆積する遺骸を採取し、実験室で顕鏡による形態の記載に基づいて種相当レベルの同定を行った。哺乳類については、池沼周辺に設置した自動撮影カメラによる撮影と個体に取り付けたGPSによって、哺乳類の池沼利用を記録した。

上述の流域スケールの調査とは別に、北アルプス北部、八方沢地区に発達する地すべり地を対象に、地すべり地内に点在する池沼において水温や水質の計測を行うとともに、消雪時期の記録を行った。池沼内外の植生および水生動物の記載を行うとともに、池沼周辺に設置した自動撮影カメラによって哺乳類の記録を行った。池の周囲ではハンドオーガーによる掘削により地質試料を採取し、層相の変化を記録するとともに年代測定を行った。

## 4. 研究成果

### (1) ジオ多様性と生物多様性の関係の理論的な検討

まず、地形や地形プロセスと植生の関係に着目した先行研究をレビューすることにより、地域スケールの生物多様性にジオ多様性がどのように影響するのかを検討した。地形と植生に着目したのは、地形がジオ多様性の空間分布を決める基盤となるとともに、さまざまな形で生態系プロセスに影響を与えることが既存研究で指摘されてきたからである。また、地形と植生が、いずれも衛星画像、航空写真、高解像度のDEMなどを用いて、空間分布や形態の変化を認識しやすいという点も重要である。

検討の結果、植生の多様性の創出に寄与するジオ多様性のタイプとして、地形の種類が多様性、

地形の生態的機能の多様性、地形の動態の多様性、地形間の連関の多様性の 4 つがあることが示された。これらのうち後 3 者は、類似した地形であっても個々の地形が地域ごとに異なる役割や動態を持っている点が注目される。4 つのジオ多様性のタイプが自然保護や資源管理にとって重要であることを考慮すると、ジオ多様性、特に地形プロセスに関連する植生変化に対する長期的な影響については慎重に検討する必要があることが指摘された。

次に、ジオ多様性に着目した、自然地理学の観点からの野生動物研究の可能性について、既存研究の整理をもとに検討した。主に生物学によってなされた近年の生物地理学の進展について概観したうえで、野生動物の分布とジオ多様性の関係を考えるうえで地形に着目することが有効であるとの考えに立ち、既存研究をもとに野生動物の分布に対して地形がどのような役割を持つのかを整理した。さらに、地形を軸にした山地のジオ多様性と野生動物の関係に関する研究課題の例を地すべり地と山岳池沼の研究について示した。地形をもとに把握したジオ多様性を小スケールでの生物生態地理学的な研究に生かすことが、分子系統地理学による大スケールの分布パターンの研究成果をプロセス面から裏付けることに貢献すること、その際に動物分布を成因論的に理解するためにジオ多様性の発達史と動物分散の歴史の双方の視点をもつのがよいことが指摘された。また、動物分布の歴史性について詳細な検討が必要である場合には、景観遺伝学との関係が有効であると考えられる。

## (2) 梓川上流域におけるジオ多様性と生物多様性

### 水生昆虫

上高地周辺の高山帯・亜高山帯に存在する 23 池沼の止水性昆虫相を調べたところ、7 目 15 科 19 種が確認された。これらの池沼は群集構造に基づいて 4 つのグループに分類され、それらは圏谷底に位置するもの、主に線状凹地に位置するもの、焼岳火口を含む前二者以外の主稜線付近に位置するもの、梓川氾濫原に位置するものであった。圏谷底の池沼では幼虫期に砂粒を巣材に用いる種群が優占し、線状凹地の池沼では水際の植物を利用して倒垂型の羽化を行う種や葉片・樹木片を幼虫期の巣材に用いる種が優占していた。梓川氾濫原では、流水環境にも適応した種群が優占していた。多くの池沼に出現したマメゲンゴロウについて遺伝子マーカーを用いた集団遺伝解析を行った結果、近接する池沼では遺伝構造が類似する一方で、特定の山域に集中するハプロタイプも検出された。以上のことから、種レベルの多様性は池沼の成因に結び付いた環境条件の違いによって生み出され、遺伝子レベルの多様性には、分散の障壁となる尾根や谷といった小地形・中地形スケールの地形がかかわっていると考えられる。

きぬがさの池の水文観測では、冬季の水温の変化が記録された。それによると、厳冬期においても池沼は全面的に結氷することがなく、水底部に水生動物の生息する環境が維持される可能性が示唆される。このことは氷期の小規模逃避地の存在を考えるうえで重要である。

### 珪藻群集

梓川上流域の 45 池沼において、池底の表層堆積物に含まれる珪藻を殻の形態にもとづいて分類したところ、75 分類群以上が確認された。これらの池沼は群集構造に基づいて 4 つのグループに分類され、それらは圏谷底に位置するもの、線状凹地に位置するもの、梓川氾濫原に位置するもの、氾濫原上の流れ山群内に位置するものであった。各池沼に出現する分類群は EC や pH といった水質の他に、池沼の面積や周囲の植生に影響を受けていると考えられる。また、線状凹地に位置するグループには、梓川の左岸側稜線に集中して分布するグループと流域内に広く分布するグループが含まれる。これらのことから、珪藻群集の構造は、池沼の環境（植生発達や水質）と分散の歴史の双方の影響を受けて成立していることが示唆される。池沼の環境は地形と関連した池沼の成因と結びついて形成され、一方で、小地形・中地形スケールの地形がつくりだす距離や標高差が分散に対する障壁として働いている可能性がある。

### 分散能力とジオ多様性の効果との関係

上述のように、水生昆虫の調査では、微地形に対応する池沼の成因に結びついたジオ環境の違いによって種レベルの多様性が創出され、小・中地形スケールの地形が遺伝子レベルの多様性の創出にかかわっていると考えられるのに対し、珪藻は、微地形に対応する池沼の成因と結びついたジオ環境の違いだけでなく、小・中地形スケールの地形による分散の障害の影響も受けて、種相当レベルの多様性が成立していることが示唆された。水生昆虫と珪藻の多様性とジオ多様性との関係の違いの一因として、両者の分散能力の違いが挙げられる。止水性の珪藻は受動分散によるもので、能動分散の水生昆虫よりも相対的に分散が難しいと考えられる。

ところで、止水性の珪藻の分散にかかわるのは、従来指摘されてきた水鳥だけでなく、本研究で頻繁に記録された、池沼を利用する哺乳類もまた大いにかかわっている可能性がある。受動分散の生物の分布や多様性を論じるには、分散を助ける鳥類や哺乳類の池沼利用について、分析を深める必要性が指摘できる。

## (3) 八方沢地すべり地におけるジオ環境と生物群集

八方山南面の八方沢には、源頭部に大規模な地すべり地が存在する。地すべり地内には微地形に対応して広葉樹林、針葉樹林、ササ草原、湿性草原、岩塊地など、多種の植生が混在する。地すべり地内に点在する池沼における EC、pH、水温の計測結果によると、これらの池沼には主に

雨水や融雪水によって涵養されるものと主に湧水によって涵養されるものが存在すると考えられる。自動撮影カメラには、これらの池沼が大型・中型哺乳類によって利用されていることが記録された。また、池沼に生息する両生類、水生昆虫、珪藻類が記録された。これらのうち、珪藻類については、雨水・融雪水涵養型の池沼と、湧水涵養型の池沼で群集構造が異なることが明らかになったが、生物種全体と池の成因や消雪時期との関係については、さらなる検討を要する。

地すべり移動体内の3ヶ所の池沼の近傍においてハンドオーガーによる掘削を行い、3本のコア試料を得た。堆積相区分と放射性炭素年代の測定結果から3本のコアに概ね共通する環境変化が認められた。各地点とも50~70 cm以深(約3.1 cal ka BP~約1.6 cal ka BP以前)では砂礫層が連続して堆積し、それより上位では腐植を含むシルト層に変化して地表まで堆積が継続してきた。このような層相の変化には、地すべり地内で起きた小規模崩壊などの斜面変動の影響と、完新世後期の気候冷涼化による消雪の遅れとそれに関連した残雪砂礫地の拡大の影響があったと考えられる。このような池沼環境の変化は池沼を利用する生物群集の構造にも変化をもたらしてきたと考えられる。

#### (4) 研究成果の意義と今後の課題

本研究では、種レベルおよび遺伝子レベルの種多様性の創出要因をジオ多様性と結び付けて論じた。移動性の高い動物は、その分布の特徴をジオ環境に関連づけて理解することは必ずしもできないであろう。しかし、潜在的な分布頻度が、地形を軸とするジオ多様性と関連付けて理解できれば、動物と生息環境の関係を空間的にとらえる視点が得られる。このことは、生物学の分野でなされている研究を補完することになるだけでなく、生物多様性の保全やジオパーク活動の推進に対する理論的・実践的な貢献につながると期待される。

また、本研究のように、遺伝子解析を含めた種や地域集団の分布や多様性の成因を流域スケールで明らかにすることは、大陸スケール、列島スケールで行われてきた生物地理学研究成果のプロセス面から裏付けることにつながると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takaoka, S	4. 巻 14
2. 論文標題 Four types of geodiversity for nature conservation with a focus on the relationship between landform and vegetation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoheritage	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12371-022-00706-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高岡貞夫	4. 巻 96
2. 論文標題 野生動物とジオ多様性の関係に関する研究分野としての動物地理学の可能性	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 地理学評論	6. 最初と最後の頁 57-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 荻谷愛彦・原山 智・松四雄騎・清水勇介・松崎浩之	4. 巻 131
2. 論文標題 北アルプス・前穂高岳北尾根東面奥又白谷上部で発生した大・中規模斜面崩壊とそれによる岩塊斜面	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 447-462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5026/jgeography.131.447	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 荻谷愛彦	4. 巻 130
2. 論文標題 大規模斜面崩壊の発生時期と誘因に関する通説の再検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 N51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 井上恵輔・東城幸治・高岡貞夫	4. 巻 55
2. 論文標題 山岳池沼における水生昆虫類の群集構造	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 25-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 上原元樹・西村基志・佐々木明彦・鈴木啓助	4. 巻 67
2. 論文標題 乗鞍岳東斜面における局地風系に及ぼす積雪の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 天気	6. 最初と最後の頁 17-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 瀧井暁子・高島千尋・泉山茂之	4. 巻 60
2. 論文標題 ツキノワグマ亜成獣メスによる夏季における長距離移動	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 哺乳類科学	6. 最初と最後の頁 95-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 苅谷愛彦・高岡貞夫	4. 巻 52
2. 論文標題 上高地西部, 善六沢および玄沢源頭の地すべり移動体における線状凹地埋積物 (SMA-2019 コア) の層序と年代	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 専修自然科学紀要	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 高岡貞夫・井上恵輔・東城幸治・齋藤めぐみ・苅谷愛彦
2. 発表標題 山地におけるジオ多様性と生物多様性：山地の池沼を事例に
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaoka, S.
2. 発表標題 Geodiversity loss in the Anthropocene and its impact on biodiversity
3. 学会等名 JpGU-Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 匠・苅谷愛彦・高岡貞夫
2. 発表標題 八方尾根八方沢の地すべり移動体に生じた小規模閉塞凹地内の池澗における3.9 cal ka BP以降の環境変化
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J.B. Canovas, R. Nishii, Y. Kariya, F. Imaizumi, N. Matsuoka, and M. Stoffel
2. 発表標題 Looking at long-term debris flow activity in the Japanese Alps
3. 学会等名 PAGES (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾学・鏡味沙耶・横山立憲・苅谷愛彦・小嶋 智
2. 発表標題 焼岳中尾テフラ：北アルプス南部における完新世後期の年代指標としての有用性の検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 匠・苅谷愛彦
2. 発表標題 北アルプス北部，八方沢地すべり地における完新世後期以降の環境変化
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高岡貞夫・苅谷愛彦
2. 発表標題 地形植生史 - 地形発達史と植生変遷史の接点を探る研究
3. 学会等名 日本植生史学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 苅谷愛彦・高岡貞夫
2. 発表標題 北アルプス上高地の岩盤重力変形斜面に生じた線状凹地で掘削した3コアの層序と年代
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合（国際学会）
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 栗本享宥・苅谷愛彦
2. 発表標題 八ヶ岳火山東面の大月川・湯川上流部における大月川岩屑なだれ堆積物の層序と年代の再検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 匠・苅谷愛彦・高岡貞夫
2. 発表標題 北アルプス八方尾根八方沢の地すべり移動体に生じた閉塞凹地における掘削コアの層序と年代
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木明彦・西村基志・鈴木啓助
2. 発表標題 北アルプス南部，きぬがさの池の水位維持機構
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤めぐみ・苅谷愛彦・高岡貞夫
2. 発表標題 ジオダイバーシティは珪藻の多様性に貢献してきたか
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 苅谷愛彦・高岡貞夫
2. 発表標題 線状凹地掘削コアから推定した上高地西部における完新世の岩盤重力斜面変形
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 苅谷愛彦
2. 発表標題 上高地の自然史と深層崩壊
3. 学会等名 日本山の科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木明彦・西村基志・鈴木啓助
2. 発表標題 北アルプス，乗鞍岳高山帯のハイマツ小群落における地温状況
3. 学会等名 日本山の科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高岡貞夫
2. 発表標題 生物多様性の保全にむけたジオダイバーシティのとらえ方 - 中部山岳国立公園の事例 -
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2021年

## 〔図書〕 計3件

1. 著者名 高岡貞夫	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 844
3. 書名 地理学事典	

1. 著者名 高岡貞夫	4. 発行年 2023年
2. 出版社 専修大学出版局	5. 総ページ数 265
3. 書名 山地と人間	

1. 著者名 苅谷愛彦	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 844
3. 書名 地理学事典	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

-

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	苅谷 愛彦  (Kariya Yoshihiko)  (70323433)	専修大学・文学部・教授    (32634)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐々木 明彦  (Sasaki Akihiko)  (20608848)	国土館大学・文学部・准教授    (32616)	
研究分担者	泉山 茂之  (Izumiyama Shigeyuki)  (60432176)	信州大学・学術研究院農学系・教授    (13601)	
研究分担者	東城 幸治  (Tojo Koji)  (30377618)	信州大学・学術研究院理学系・教授    (13601)	
研究分担者	齋藤 めぐみ  (Saito Megumi)  (40455423)	独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・研究主幹    (82617)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関