

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24380074

研究課題名(和文)カンラン岩流域と森林形態が物質フローおよび陸域・沿岸域生物資源に与える影響の解明

研究課題名(英文) Influences of forested Peridotite Basin on material flow and land-seashore vegetation

研究代表者

笹賀一郎(SASA, Kaichiro)

北海道大学・名誉教授

研究者番号：70125318

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：非カンラン岩地帯との比較から、カンラン岩地帯の流域と植生が、陸域における物質移動と沿岸域の水質環境や植物生産に与える影響を明らかにしようとした。

カンラン岩流域においては、水分の地表流出率が高く、DOC(溶存炭素)の流出量も多くなっている。DOCと土壌中のFeイオンとの有機無機複合体の形成は、針葉樹林下において、秋期を中心に行われ、0層の下部より溶出する。また、SS(浮遊砂)の流出量は少なく、落葉の流出率が高くなっている。カンラン岩地帯の河川は沿岸域の水質環境や昆布の育成などに好条件をもたらしているが、水質環境の悪化などにより、コンブの藻場が縮小傾向にある状況も把握された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to clarify the influences of forested Peridotite basin on the water quality, material flow and seashore vegetation. Investigations were conducted by the method of comparing the Peridotite basin and the other than Peridotite basin.

In the Peridotite basin, the quantitative ratio of run-off was high and run down through the surface of slope. And amount of DOC liquate out was large. Organic(DOC)-inorganic(Fe) complex were flow out from the bottom of 0-layer of the soil, under the coniferous forest, mainly in autumn season. Fewer SS(Suspended Sediment) were run-off and ratio of fallen leaves run-off was high. It was concluded that water environment and vegetation at the seashore area were conserved by forested Peridotite basin. But, on the other side, following situation was grasped that Kelp vegetation areas are decreasing by the effects of environmental deteriorations.

研究分野：森林科学

キーワード：森林連関 カンラン岩 物質フロー 植物資源 遺伝特性 生物生産 森林影響

1. 研究開始当初の背景

(1) 山地(森林)と平地(耕地)・沿岸域は河川を通して密接な関係にあり、地域の環境保全や生物生産の向上などにおいては、従来の個別化学に加えて、フィールド科学的アプローチによる総合化された科学体系による取組が必要とされている。本プロジェクト研究の多くのスタッフが所属する北海道大学北方生物圏フィールド科学研究センター(FSC)はそのような活動を目的の一つとして設立された研究教育機関であり、北海道北部の河川や湖と流入河川などを対象として、「山地(森林) 河川 沿岸海域(湖水域)」の関連や相互作用に関する研究をすすめてきた。

地質構造や植生などの特異性から注目を集めているアポイ岳を中心としたカンラン岩(超塩基性岩)地帯については、当地の様似町においても貴重な地域資源としてとらえ、観光産業だけではなく、第一次産業の振興に活用することが検討されてきた。FSCにおけるカンラン岩流域についての研究計画と様似町からの研究要請とが一致し、本プロジェクト研究が実施されることになった。

(2) 超塩基性岩の地帯は裸地や草原となるのが一般的であるが、アポイ岳を中心としたカンラン岩地帯の植生は、アカエゾマツやキタゴヨウを主要な構成樹種とした森林の成立や、固有種・固有変種の灌木類や草本類の存在が特徴となっている。また、カンラン岩の特殊な化学性の影響により、氷河期からの遺存植物が存在したり、侵入植物の適応形・変化形の存在などが注目されている。さらに、日本海側の「過雪地帯」と太平洋側の「寡雪地帯」との境界に位置していることによる最終氷期後の植生遷移の「キー(key)」地域ともなっている。これらの特徴から、フロラの成立過程や遷移についての研究、超塩基性岩土壌下でのマグネシウム・SSの非吸収機構やマグネシウム耐性との関連に関する研究、陸域植物の遺伝子情報の把握などの重要な研

究フィールドとなっている。

また、沿岸海域の生物生産(コンブなど)はカンラン岩と植生とを背景にしており、針葉樹林で生成される酸性腐植物は鉄と結合して河川～沿岸海域に運ばれると考えられている。沿岸海域の水質環境保全や生物生産の向上には、無機-有機結合体(錯体)としての鉄の流出や、マグネシウム・SS(浮遊砂)・落葉の供給もふくめた、流域から沿岸海域への物質フローと生物資源の成育環境との関連の解明が重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、アポイ岳に代表される北海道日高山脈南部のカンラン岩流域と近隣の白亜紀～古第三紀の堆積岩地帯(非カンラン岩流域)や広域間での比較研究をもとに、地質条件や森林形態が流域および沿岸海域にたいする栄養塩や鉄・マグネシウム・SS・DOC(溶存炭素)・落葉などの物質フローに与える影響について定量的に解析することを第一の目的とした。さらに、カンラン岩流域における物質フローや供給形態が灌木(小果樹)や草本類の遺伝子特性に与える影響および沿岸海域の水質環境や海藻(とくにコンブ)の成育に及ぼす影響などの解明をおこない、カンラン岩流域と植生形態が陸域および沿岸海域の生物資源に及ぼしている効果について「山地(森林) - 平地(耕地) 沿岸海域」空間の関連のなかで明らかにしようとした。

3. 研究の方法

本研究では、「物質フロー」グループと「陸域植生資源」グループ・「沿岸域生物資源」グループとによるプロジェクト研究として、フィールド科学的手法を中心にした調査・観測活動を実施し、カンラン岩流域と近隣の非カンラン岩地帯および広域間での比較研究を実施した。「物質フロー」グループにおいては、山腹斜面や河川における定期観測およ

び定点観測により、栄養塩類などの化学物質や鉄・マグネシウム・SS・DOC・落葉などの「山地・森林～溪流・河川～沿岸海域」までの物質フローや供給・移形態の把握・解析を主な課題とした。「陸域植生資源」グループでは、カンラン岩地帯の特異な灌木類・草本類についての成育環境調査と遺伝子解析および広域間比較の実施を主な課題とした。「沿岸域生物資源」グループでは、沿岸海域でのモニタリング調査を実施し、透明度やSSの流入と堆積状況・植物性プランクトンの発生状況もふくめた水質環境の変化やコンブの成育域（藻場）の変化などの把握を主な課題とした。最終的には、これらの研究成果を総合することにより、カンラン岩流域の地質・土壌条件や森林形態が陸域および沿岸海域の環境や生物資源に及ぼす効果についての評価や、今後の環境保全・生物生産の保全などについての検討をおこなうこととした。

4. 研究成果

(1) 物質フロー

カンラン岩流域と非カンラン岩流域における物質フロー

カンラン岩流域と非カンラン岩流域とに河川水観測地点9か所と土壌水観測地点2か所の合計11地点に定期観測地を設定し、月一度の定期採水と降水時や融雪時などのイベント時における集中観測を実施した。

渇水期・平水期にはカンラン岩・非カンラン岩両流域の河川水中の鉄濃度は検出限界以下であったのに対し、降雨流出時にカンラン岩流域から流下する河川水に含まれる溶存有機物と鉄濃度は、様似川流域の河川に比べていちじるしく高く、鉄が有機物と結合する形で沿岸域へ供給されている状況が把握された。土壌浸透水の分析結果と総合すると、カンラン岩流域では降雨時発生した浸透水が表層土壌を斜面と平行に流下し、その過程で針葉樹林の落葉層（O層）より有機酸が供

給され、それが土壌中に高濃度で含まれる鉄と結合して錯体を形成して海まで運ばれるものと考えられた。

このように、鉄は降雨時に水溶性有機物と結合して結合して河川に供給されるが、同量のDOCと結合するFeの量はカンラン岩流域河川で非カンラン岩流域の約2倍程度の値となっており、カンラン岩流域からの高い鉄供給能力が示された。また、鉄に対するDOCの結合力は秋～初冬にかけての降雨が重要であることも明らかになった。

沿岸海域に運ばれて水質汚濁や光環境の変化を引き起こす原因となる懸濁物質（浮遊砂SS）の流出は、降雨時や融雪時に非カンラン岩流域で高く、小規模の降雨でも発生していることや、降雨後も比較的長い期間にわたって流出が続いていた。カンラン岩流域では、森林とO層の発達、および土層が薄く礫が多いことからSSの発生・流出量が少ないことなどにより、カンラン岩流域からの懸濁物質濃度は非カンラン岩流域より低く、沿岸域におけるコンブの生育には良好な環境が保持されやすいことも明らかになった。

なお、鉄の流出と沿岸海域への運搬については、針葉樹林と土壌層の存在によってはじめてその効果が発揮されることが考えられた。

落葉の流出量

本研究では、多くの地点での観測により、流域面積や土地利用の異なる集水域において、秋期の落葉流出量の観測を行った。

日高沿岸域20河川における落葉のL-Q（負荷量-流量）の関係から、秋期の落葉流下量（負荷量）は観測時流量とよい対応を示し、流量が把握されれば、下流域への負荷量を比較的よい精度で予測できることが示された。また、流量は流域面積と高い相関関係（ $R^2=0.95$ ）にあるため、落葉流下量は流域面積によってもよく説明できることも明らかになった。さらに、河口域海底で落ち葉だまりを形成するのは、ミズナラなどの山地性

樹種が多いという漁業者からの聞き取り調査の結果を参考に、流下落葉を山地性(ミズナラ)と河畔性(ヤナギ)とに分けて計量し、環境要因との対応と検討したところ、山地性樹種の落葉流量は流域平均斜度と最もよい相関を示し、流域面積 40km² 以上の地点においてとくによい相関を示した。

以上の状況から、落葉の流出には、流域の面積とともに、河川地形(流域の平均傾斜)にともなう樹種の分布率が大きく影響しており、カンラン岩地流域からの流出率が高くなっていることが明らかになった。

(2) 灌木類および草本類の遺伝的特性

灌木(小果樹)類の遺伝的特性

本研究においては、クロミノウグイスカグラとキイチゴ属植物に着目し、倍数体調査や系統関係の解析などを行った。

クロミノウグイスカグラは湿原に自生することが多いが、アポイ岳においては標高が比較的高い 611m ~ 628 m の山頂から通称“馬の背”に続く稜線上に分布していた。

フローサイトメトリーによる DNA 含量の測定を行った結果、アポイ岳のクロミノウグイスカグラは全て四倍体であり、アポイ岳のハスカップは釧路湿原や別寒辺牛湿原のものとは異なっていることが明らかになった。

Capsicum 属植物の葉を内部標準として、フローサイトメトリーによって DNA 含量を測定したところ、北海道各地域のクロミノウグイスカグラの四倍体は、標高に比例して DNA 含量が小さくなる傾向がみられた。アポイ岳のクロミノウグイスカグラについても同様な結果が見られ、標高に依存した DNA 含量の変化が見られることが明らかになった。

DNA マーカー (Amplified Fragment Length Polymorphism; AFLP) を用いたクロミノウグ

イスカグラの分子系統解析をもとにユーラシア大陸と日本のクロミノウグイスカグラを比較したところ、アポイ岳のクロミノウグイスカグラは概ね日本在来のクロミノウグイスカグラとの類縁関係を示す結果となったが、一つのクラスターにはまとまらず、アポイ岳にクロミノウグイスカグラは遺伝的多様性が高いことが示唆された。

キイチゴ属植物については、AFLP により系統解析の結果、アポイ岳のナワシロイチゴとクマイチゴは、それぞれの種内でクラスターにまとまり、AFLP によって植物種を識別できることが明らかになった。また、それぞれの種内の関係性を見たところ、アポイ岳のナワシロイチゴ・クマイチゴは、道北のものとは遺伝的に遠いことを示す結果が得られた。

草本類の遺伝的特性

本研究では、ヒダカミセバヤ(ベンケイソウ科)およびヒメナツトウダイ(トウダイグサ科)・広義オオバキスミレ(スミレ科)の種内分類群エゾキスミレ・レブンイワレンゲの4分類群を材料に選定した。

エゾキスミレを含む広義オオバキスミレは、11 全種内分類群を含む 27 集団 42 個体について、葉緑体 DNA 上の *trnT* - *trnL*, *trnL* - *trnF* 両遺伝子間領域と核 DNA 上の ITS 領域を用いて遺伝解析を行った。ヒダカミセバヤについては、生育地を網羅するように 14 集団 33 個体について、葉緑体 DNA 上の *trnT* - *trnL*, *trnL* - *trnF*, *trnS* - *trnG*, *trnH* - *psbA* の各遺伝子間領域および *trnL* イントロンと核 ITS 領域を用いて遺伝解析を行った。ヒメナツトウダイについては、アポイ岳・夕張岳など 4 集団からサンプリングを行い、葉緑体 DNA 上の *trnL* - *trnF* 遺伝子間領域を調べた。レブンイワレンゲについては、しばしば混同されるアオノイワレンゲ、コモチレンゲ

を含め、56 集団 95 個体について生きている個体の外部形態、および葉緑体 DNA 上の *trnT* - *trnL*, *trnL* - *trnF* 両遺伝子間領域と核 DNA 上の ITS 領域を調べた。

研究対象とした 4 種のうち、広義オオバキスミレとヒダカミセバヤについてカンラン岩地とそれ以外の生育地での遺伝的変異を明らかにすることができた。そのうち広義オオバキスミレでは、葉緑体 DNA において特定の遺伝変異に超塩基性岩への隔離が関与したと考えられた。一方、ヒダカミセバヤでは、生育地の土壌特性に関係なく遺伝変異が起こったと考えられた。そのため、カンラン岩が植物の遺伝的変異に及ぼす影響は植物種によって異なるということが明らかになった。

ヒメナツトウダイについては、検出された変異はそれがどのようなプロセスで起こったかを特定することが困難なため、各個体の系統関係を明らかにすることができなかった。また、レブニワレンゲについては、外部形態では 2 つの分類群に分けられたが、遺伝解析では葉緑体・核 DNA とも外部形態から考えられた分類とは一致しない結果を得た。この結果はカンラン岩地に関しても関連が見いだせなかった。

(3) 沿岸海域の水環境変化と生物資源

様似町の沿岸海域において、カンラン岩流域である幌満川の河口域と白亜紀・古第三紀の流域であるニカンベツ川・様似川の河口域で経年的なモニタリングを実施し、特有の水質環境がミツイシコンブの分布域に与えている影響を明らかにしようとした。モニタリングの対象は、水質環境と音響調査および水中カメラによるコンブ藻場の変化である。

旭地区に流出するニカンベツ川と様似地区に流出する様似川の河口付近から沖合の深度 15m 地点まで設定した水質観測定線において、両地区とも透明度が年々低くなる傾

向が認められた。そのうえ、観測期間中においては、旭地区よりも様似地区の透明度が常に悪くなっているという状況も観測された。

また、旭地区のコンブ藻場は、透明度の低下により、秋に 1 年目のミツイシコンブが深度 10m 以浅にしか生えていないという状況が続いていることも把握された。ただし、ニカンベツ川（旭地区）と様似川河口（様似地区）においては、透明度とクロロフィル *a* 量（植物プランクトン量）の間で弱い負の相関が見られていたが、様似地区では透明度と懸濁物質（SS）量の間や懸濁物質とクロロフィル *a* 量の間には全く相関が見られず、旭地区では透明度と懸濁物質の間で中程度の負の相関や、懸濁物質とクロロフィル *a* の間で中程度の正の相関が見られるという異なった結果になっていた。

一方、白亜紀・古第三紀の流域である様似川河口よりエンルム岬を超えてさらに西側に位置し、カンラン岩流域から最も離れている鵜苫地区では、コンブ藻場の被覆率が 34.9% と最も高くなっており、良好なコンブ藻場が維持されていた。カンラン岩流域である幌満川の河口に近い冬島地区ではコンブ藻場面積は鵜苫地区よりも被覆率が 10% と低く、さらにコンブ藻場は浅い所に限定されている状況も把握された。

また、エンルム岬の東側に位置する様似地区や南側に隣接する平宇地区では、透明度の低下により藻場が岸側に後退しつづけている状況も把握された。これには、春から夏にかけての南南西の方角からの卓越した波浪によって、様似川から運ばれてきた微細な浮泥がエンルム岬に遮られて滞留している可能性が考えられた。そして、その影響がさらに東側に隣接する冬島地区にも及んでいる可能性も考えられた。

5. 主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 15 件)

Miyashita T., Kunitake H., Yotsukura N., Hoshino Y. : Assessment of genetic relationships among cultivated and wild *Rubus* accessions using AFLP markers, *Scientia Horticulturae*, 査読有, 193, 2015, 165-173,

DOI:10.1016/j.scienta.2015.07.004

Norishige Yotsukura, Takashi Maeda, Tsuyoshi Abe, Masahiro Nakaoka, Tadashi Kawai: Genetic differences among varieties of *Saccharina japonica* in northern Japan as determined by AFLP and SSR analyses, *Journal of Applied Phycology*, 査読有, 2016, Online First,

DOI:10.1007/s10811-016-0807-6

Yamakita, T., Yamamoto, H., Nakaoka, M., Fujikura K., Hidaka K., Yotsukura, N. et al. : Identification of important marine areas around the Japanese Archipelago: Establishment of a protocol for evaluating a broad area using ecologically and biologically significant areas selection criteria. *Marine Policy*, 査読有, 2014, 136-147.

DOI:10.1016/j.marpol.2014.07.009

〔学会発表〕(計 25 件)

佐藤冬樹・笹賀一郎・福沢加里部・間宮春大・長坂晶子・長坂有・堀井勇司・杉本記史 : カンラン岩地帯の森林流域より溶出する有機 - 無機複合体の季節変化、日本森林学会、2016年3月29日、日本大学生物科学部(神奈川県 藤沢市)

長坂晶子・長坂有 : 流域スケールの環境情報を用いて沿岸域への落葉流出量を予測する、日本森林学会、2016年3月29日、日本大学生物科学部(神奈川県 藤沢市)

東 隆行 : 絶滅危惧種ヒダカミセバヤの集団遺伝解析、日本植物分類学会第14回大会、2015年3月8日、福島大学(福島県 福島市)

〔図書〕(計 4 件)

四ッ倉典滋 : 北海道新聞社、北海道つながる海と川の生き物、2015、190(65 - 76)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

笹賀一郎 (SASA, Kaichiro)
北海道大学・名誉教授
研究者番号 : 7 0 1 2 5 3 1 8

(2)研究分担者

福澤 加里部 (FUKUZAWA, Karibu)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・助教
研究者番号 : 1 0 4 5 6 8 2 4

佐藤 冬樹 (SATO, Fuyuki)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号 : 2 0 1 8 7 2 3 0

東 隆行 (AZUMA, Takayuki)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・助教
研究者番号 : 2 0 3 3 3 6 5 1

星野 洋一郎 (HOSHINO, Yohichiro)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授
研究者番号 : 5 0 3 0 1 8 7 5

四ッ倉 典滋 (YOYSUKURA, Norishige)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授
研究者番号 : 6 0 3 1 2 3 4 4

傳法 隆 (DENPOU, Takashi)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・助教
研究者番号 : 7 0 2 0 7 5 1 2

長坂 晶子 (NAGASAKA, Akiko)
地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林業試験場・主査
研究者番号 : 7 0 4 1 4 2 6 6

仲岡 雅裕 (NAKAOKA, Masahiro)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号 : 9 0 2 6 0 5 2 0

(3)連携研究者

柴田 英昭 (SHIBATA, Hideaki)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号 : 7 0 2 8 1 7 9 8