

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 7 月 10 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23780335

研究課題名（和文）山地流域に形成される雲霧帯の時空間分布に着目した森林群集の成立維持機構の解明

研究課題名（英文） Distribution of forest communities and their habitat conditions in a foggy mountainous watershed

研究代表者

伊豫部 勉 (IYOBE TSUTOMU)

新潟大学・災害・復興科学研究所・特任助教

研究者番号：50397155

研究成果の概要（和文）：

新潟県大佐渡山地において、雲霧の形成高度に着目した森林群集の分布と土壤環境との関係を明らかにする調査を行い、次のことが明らかとなった。暖候期に観測した霧は、山麓で凝結が始まり、日中時間帯に卓越する海風によって、短時間で発達しながら山腹斜面を駆け上がる上昇霧であった。山腹上部から稜線まで広がるスギ天然林内では、頻繁に発生する霧が林床での蒸発現象の抑制因子となっていた。また、林床に負荷される海塩濃度の変動幅は他の高度に比べて小さく、林内の化学的環境は安定していた。

研究成果の概要（英文）：

I have investigated to understand the relationship between distribution of forest communities and soil environment in a foggy mountainous watershed. The remarkable findings are as follows. (1) Fog was formed by condensing at the base of watershed and then transported to the ridge line by sea breeze. (2) In the natural *Cryptomeria japonica* forests distributed on ridge line, frequent fog event was one of the limiting factors in inhibiting the evaporation from the forest floor. (3) Fluctuating range of sea salt loadings in the forest floor on ridge line was smaller than those at lower altitude.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：生物地球科学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：山地流域，雲霧帯，上昇霧，林床蒸発量，大気降下物

1. 研究開始当初の背景

空気中の水蒸気が凝結高度に近い山岳域では、雲霧に覆われる地域が存在する。水循環・物質循環の構成要素としてみた場合、雲霧は日射の遮蔽によって気温上昇を抑え、さらに地表面への付加的水供給によって、土壤環境の低温・多湿化を招く。そのため、土壤有機物の分解速度が抑制され、一次生産性の低い生態系が形成されるなど (Foster, 2001)、雲霧で覆われる生態系の化学的環境は貧栄養状態に陥っていると考えられる。ところが近年、山岳域に発生する霧雲水が酸性

化していることが全国の山岳域で相次いで報告され、雲霧水を介して輸送される人為的な汚染物質が、雲霧の常襲地域に成立する生態系の物質循環に影響を及ぼしている可能性が懸念されている。

近年の温暖化により、地球規模での水循環システムに明らかな変調をきたし始めている。環境変動に対して脆弱とされる我が国の山岳域でも、過去 40 年間に約 10℃の気温上昇が認められている (Wada, *et al.*, 2004)。このような山岳域での気温上昇は、雲霧が形成される高度が徐々に上昇するばかりでな

く、低い高度に分布していた生態系へと置き換わる可能性をはらんでいる。一方、大気環境化学分野では、酸性化した霧雲水が、富山県立山や秋田県八幡平など標高 1000m 以上の山岳域でも報告され (Watanabe, 2009; 吉村, 2004), アジア大陸からの越境汚染物質と雲霧水の酸性化との関連性について議論されているが、雲霧が生態系の構造や水循環・物質循環にどの程度如何に寄与しうるのかを評価した研究は見られない。

本研究対象地の新潟県大佐渡山地には、標高 700m 以上の山腹上部において、天然スギが広く分布し、個体によっては樹齢 500 年以上になる大径木も現存する。大佐渡山地における天然スギの成立については、これまで主に林学、土壌学的観点から、森林群集の更新過程や成立の謎を解く努力がなされてきた (富沢・丸山, 1993, 1994; 斎藤ほか, 1994)。天然スギが今日まで維持されて理由として、暖候期に発生する雲霧が過湿な環境を維持し、森林群集を支える水循環・物質循環に深く関係していると考えられている。そこで予備調査ながら、申請者らは 2010 年より雲霧の発生メカニズムを明らかにするため、ビデオカメラを用いた雲霧の動態に関する集中観測を行ったところ、雲霧は低い高度で発生し、上昇気流によって徐々に発達しながら稜線付近まで運ばれることを確認した。さらに、雲霧は標高 150m 以上で発生しやすく、天然スギが分布する標高 700m 以上ではほぼ確実に雲霧で覆われることが明らかとなった。すなわち、当概流域における森林植生の垂直分布は、雲霧の発生傾度に密接に関係している可能性が示唆された。一方、申請者はこれまで、海霧の常襲地である森林性泥炭地において、生物群集と土壤環境との関係について海霧を介した物質動態との関連から研究を行い、一連の解析結果から、霧の捕捉能の違いから生じる大気-植生間の化学物質の動態の差異が、土壤環境に影響を及ぼし、この環境変化が植生群集の分布を決定する要因であることを明らかにしてきた。大佐渡山地においても、相互作用系として物質動態の視点から大気-植生-土壤の関係を捉えることが極めて有効であると目された。

2. 研究の目的

本研究では流域における雲霧の形成高度に着目した森林群集の構造と土壤環境との関連性を明らかにするため、雲霧の時空間分布を評価し、さらに、森林内における水・物質循環、ならびに土壤環境の物理化学的特性との関係を解析することで、生態系内での雲霧の役割を明らかにすることを目的とする。そのため、(1) 雲霧帯の時空間的分布、(2) 高度別の植生と土壤環境との関係、(3) 高度別の物質負荷量と土壤環境との関係につい

て調査解析することを研究課題とする。

3. 研究の方法

(1) 調査地概要

研究対象流域がある大佐渡山地は、佐渡島北部に位置し、北北東-南南西方向に伸びており、主稜線の標高は約 600m~1,100m である。研究対象流域は、大佐渡山地北部に位置し、標高は 0m~904m の北西から南東方向へ流路をもつ流域である。本流域には、ほぼ純林に近いスギ天然林が標高 700m 以上の山腹上部から山頂部に高い優占度を示している。大佐渡山地稜線部 (標高 800m) の気象特性として、年平均気温は 8.2°C (2009 年), 8.5°C (2010 年), 降水量は 6 月~11 月の合計が 1264.5mm (2009 年), 1383.5mm (2010 年) である。また、稜線部の最大積雪深は 3m 近くに達し、根雪期間は約 5 ヶ月間 (12 月上旬~5 月上旬) である。積雪水量を勘案すると、年間降水量は 2,500mm~3,000mm 程度に達するものと考えられる。

(2) 研究課題 1

研究対象流域の標高の異なる 3 地点 (170m, 660m, 770m) にインターバルカメラをそれぞれ 1 台設置し、日中時間帯 (4:00~19:00) における雲霧の発生状況を 2011 年および 2012 年の 5 月~11 月にかけて長期間撮影した。また、雲霧の詳細な動態を明らかにするため、2011 年 9 月 5 日~9 日および 2012 年 8 月 14 日~18 日に、目視とビデオカメラによる集中観測を行った。一方、標高 7m, 250m, 650m, 800m の開地に気象観測ステーションを設置して、気温、相対湿度、降水量の観測を行い、霧発生時の気象特性について調査した。なお、標高 7m 地点では、上記項目に加えて風向・風速、全天日射量を測定し、標高 800m 地点では下向き短波放射量、上向き短波放射量、下向き長波放射量、上向き短波放射量、積雪深も測定した。

(3) 研究課題 2

雲霧で覆われる林内の水および熱的環境を知るため、稜線沿いに分布するスギ天然林内 (標高 850m) において、気温、相対湿度、風向・風速、降雨量、下向き短波放射量、上向き短波放射量、下向き長波放射量、上向き短波放射量、地中伝導熱量、土中温度の測定を 2011 年 9 月~11 月および 2012 年 5 月~11 月に行った。調査地は、いずれもスギが優占する林分で、平均樹高 16m, 平均胸高直径 60cm, 立木密度 590 本 ha⁻¹ である。また、林床面での土壤水分量の変化を評価するため、簡易蒸発パン (縦:33.5cm, 横:23.5cm, 深さ:7cm) に土壤表層を切り出して収め、周囲地表面と同一の高さになるように土壤中に挿入し、12 時間毎に観測前と観測後の簡易蒸発パンの重量を電子天秤で測定した。林床面での土壤

表層の水分変化量の測定は、林冠の疎密度を考慮して、林内9ヶ所において行った。

(3) 研究課題3

研究対象流域の標高170m, 660m, 770mにおいて、大気経由の物質負荷量を観測するため、林外雨、林内雨、樹幹流を捕集する装置を林内・外にそれぞれ設置し定期的に採取した。重量から採取水量を算出し、得られた水試料を実験室に持ち帰った。採取した水試料は濾過後、pHと電気伝導度を測定し、イオンクロマトグラフによって主要イオン濃度(Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})を測定した。

4. 研究成果

(1) 研究課題1

①雲霧の発生状況、出現率および動態

研究対象流域の3地点(標高170m, 660m, 770m)においてインターバルカメラで得られた1日16枚の画像のうち、1枚でも霧が撮影された日を霧日と定義し、2012年の暖候期(6~9月)について月別の霧日数の割合を調べた。その結果、観測期間における霧日数の割合は、稜線付近に位置する標高770mが62%と最も多く、次いで標高660mが57%、標高170mが39%となり、標高が高くなるにつれて、霧日数の割合は増加することが分かった。霧日数が最も多い標高770m地点について、過去2年(2009年および2010年)と研究期間中(2011年および2012年)に取得した4年分の画像をあわせて調べたところ、観測期間の約60~70%が霧日であった。また、月ごとでみると7月~8月の割合がやや高かった(68~74%)。さらに、この霧日について、日中時間帯にどの程度の割合で霧が出現するのかを明らかにするため、1日の撮影枚数の中で霧と判断された画像の割合を1時間ごとに調べた結果、日中時間帯を平均すると約50%の出現率であり、特に7:00~18:00の時間帯は他の時間帯よりも出現率がやや高いことが分かった。

霧の動態をさらに詳しく調べるため、集中観測を行ったところ、ほとんどの霧は山腹斜面の比較的低い高度で凝結が始まり、数分のうちに発達しながら斜面を駆け上がり、稜線一帯を覆うプロセスで発生していた。すなわち、集中観測でみられた霧のほとんどが上昇霧であった。この上昇霧は大佐渡山地を挟む外海府側と内海府側のどちらからも発生し、多くの場合、20分以内に消散した。

②霧発生時の気象特性と成因

霧発生時の気象状況を調べるため、合計310日(2009年~2012年)の霧日について、佐渡島への影響を考慮して天気図型の分類を行った。佐渡島に大きな影響を及ぼす気象擾乱を伴わない天気図型、気象擾乱を伴う天気図型の2つに分けた。その結果、霧発生日

の天気図型は、約80%が気象擾乱を伴わない天気図型であり、気象擾乱を伴う天気図型はわずか20%であった。また、霧発生時の稜線の降水量は、気象擾乱を伴わない天気図型の方が、気象擾乱を伴う天気図型よりも少ないことから、比較的穏やかな天気の際に霧が発生することを意味する。移動性高気圧型、南高北低型などの比較的穏やかな天気でも霧が頻繁に発生することが大佐渡山地の特徴であり、霧の発生頻度が高い理由である。

気象データを使用して、大気鉛直安定度と持ち上げ凝結高度の解析、海風の出現状況などから、上昇霧の妥当性について検討した。その結果、上記の霧日には、山麓の大気は条件付不安定な状態であり、しかもこれが上昇した場合にはほぼ確実に稜線よりも低い高度で凝結することが明らかとなった。また、日中時間帯に卓越する海風が、山麓の大気の強制上昇や不安定化に寄与していると推定された。

(2) 研究課題2

霧雲で覆われる森林内の水および熱的環境を明らかにするため、スギ天然林内において、気温、相対湿度、風向・風速、放射収支量、地中熱流量、降雨量の観測を行った。2011年9月および2012年8月に約5日間かけて行った集中観測の結果、林床面における水分変化量は、期間を通して負値を示したことから、蒸発が生じていたことを意味する。さらに、土壌表層の水分変化量は、霧日には -0.06mm day^{-1} 程度であったのに対して、非霧日には -0.32mm day^{-1} となり、霧日の変化量は非霧日の15%程度と小さかった。なお、5日間の集中観測期間のうち、霧は3日発生し、集中観測期間を通して、林内の降雨量は観測されなかった。そのため、霧粒の捕捉による林冠から林床面への降水供給は無かったと考えられるが、林内雨の空間的ばらつきや樹幹流下量の樹木間でのばらつきなどを考慮して、さらに検討しなければならない。すくなくとも霧日においては、霧が湿潤な環境を形成し、林床での蒸発現象の抑制因子となっていることが示唆された。

一方、霧の発生が林内の熱的環境に及ぼす影響を調べたところ、霧日の正味放射量は非霧日に比べて半減することが明らかとなった。また正味放射量は霧の出現頻度が高い夏に大きく、出現頻度が低下する秋以降小さい季節変化を呈した。地中熱流量にも明瞭な季節変化が認められ、夏には正值(地表面から下向きへの熱移動)を示し、その期間は貯熱期に相当する。一方、秋には負値(地表面に向かって熱が移動)を示し、放熱期となる。林内の熱収支を考えた場合、正味放射量の占める割合は地中熱流量よりも高く、地面蒸発量は放射エネルギーによって規定されることが明らかとなった。今回得られた結果は、

林分代表性，測定誤差などを考慮して，さらに検討する必要がある。

(3) 研究課題3

研究対象流域における大気降下物の溶存物質は，どの高度においてもNa⁺およびCl⁻濃度が最も高く，流域における化学的環境は海洋から飛来する海塩粒子の影響を強く受けている。また，林内に供給される海塩濃度は林外に比べて高いという結果から，スギの樹冠には海から飛来する海塩が多量に沈着していることが示唆された。研究対象流域では，山麓において上昇霧が発生するとスギ天然林が広く分布する標高700m以上のエリアがほぼ確実に霧で覆われるが，この付近の海塩濃度の変動幅は他の高度に比べて小さく，安定していることがわかった。

本研究の結果は，雲霧帯に分布する森林群集の成立と維持機構の解明に，気象要因などの環境要因の解析に加えて，水および物質循環との総合的にみた関係解析の必要性を示唆するものである。研究対象流域における霧の観測は引き続き実施しており，地形・土壌との評価を含め，雲霧帯の森林群集の構造や成立要因について，今後の研究により明らかにしていきたい。

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1件)

①河島克久・伊豫部勉，大佐渡山地の霧と気象，新潟応用地質研究会誌，査読無，76，2011，55-60.

[学会発表] (計2件)

①T. Iyobe, K. Kawashima, K. Izumi (2012) Features of snow accretion damages caused by heavy snowfalls to Japanese cedar plantations in December 2009 and 2010 in the Niigata area, central Japan. 8th Alexander von Humboldt International Conference, 2012/11/14, Cusco (Peru).

②坂井浩紀，河島克久・伊豫部勉・本間航介 (2011) 大佐渡山地のスギ原生林における雲霧の発生頻度とその成因．日本水文学科学学術大会，2011/10/8，札幌．

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊豫部 勉 (IYOBE TSUTOMU)

新潟大学・災害・復興科学研究所・特任助教
研究者番号：50397155

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：