

博士（農 学） 菊 池 俊 一

学 位 論 文 題 名

樹木群の流域環境変動に対する応答履歴解析に関する研究

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

流域環境保全上の課題としてあげられるダム貯水池の土砂埋没や、河床の低下、海岸線の急速な侵食等に対する水系的流域土砂管理手法の構築が緊急に求められているが、基本課題である流域環境変動の評価手法が未構築である。流域保全のための流域評価手法構築にあたっては、流域内の諸攪乱現象をこれまでのように個別現象として解析するのではなく、流域環境変動履歴における時空間的特性との関連から解明される必要がある。とくに流域生態系の主構成要素である森林樹木群の構造・形態は、環境変動に対する樹木応答の時間的累積結果であると考えることができる。したがって流域変動情報を蓄積している樹木群の環境変動応答を時空間解析することによって流域環境変動履歴を解明することが可能と考えられる。そこで本論文では、流域内で異なる攪乱現象の発生場を対象に、その攪乱場に生育する樹木群の構造や形態の変化として現出する環境変動応答の解析手法ならびに流域変動履歴解明手法の構築を目的とした。

第1章では研究方法について述べた。流域内の空間的位置によりその立地を支配する環境変動要因は異なる。上流域では地すべりや崩壊等の山腹斜面変動や土石流形態の河床変動による攪乱が、また中流域から下流域の河川沿いでは洪水流形態の河床変動による攪乱、そして最下流域の海岸では海域由来の飛来塩分を含む海風による攪乱が生じ、それぞれ樹木群の生育に大きな影響を与える。本論文では地すべり、土石流、洪水流、海風を樹木群の生育に大きな影響を与える攪乱（環境変動）要因として選出し、各攪乱林の要因ごとの応答特性について時空間解析を行うこととした。このため、各環境変動が卓越する研究対象地としては、地すべり攪乱林として白老川中流域の森野地すべりトドマツ林（造林地）、土石流攪乱林として利尻島オチュウシナイ川上流域の扇状地林、洪水流攪乱林として十勝川上流域・石狩川上流域・沙流川中流域の河畔林、さらに海風攪乱林として天塩川最下流域の稚咲内海岸砂丘林を設定した。

第2章では、環境変動応答の痕跡である樹木群の特異外観実態、すなわち地すべり斜面における樹木群樹幹の傾倒、河畔域における樹木群変形、海岸砂丘における樹木群樹冠の偏倚などを解析した。地すべり地内は傾度・傾倒方向が相似する傾倒樹木群が複数認められ、地すべり地全域が変動履歴の異なる空間単位に区分された。また河畔域で観察される変形樹木群は洪水流攪乱の経験とその様式を示すこと、過去30年間で最大規模に匹敵する豪雨に伴う洪水によって河畔のほぼ全域（全面積の約8割）で樹木群の流出や形態変化が生じたこと、その発生割合は最低河床からの比高と流路からの距離とで示される生育立地の位置関係に強く影響を受けていることなどが明らかとなった。一方、海風環境下に生育する海岸林においては、汀線側の微地形の相違によって

風速や飛来塩分量等が異なっており、この海風環境の差異が樹冠偏倚度合いの差異をもたらしていることが明らかとなった。

第3章では、立地環境変動への応答である樹木年輪の変異について解析した。地すべり変動に対する樹木応答であるアテを中心とした年輪情報や、土石流攪乱と海風攪乱に対する生立木の年輪幅変動をとりあげ、それぞれの解析から樹木応答の特質について検討を加えた。地すべり地のアテ解析から、地塊運動の発生・方向変化・傾斜増大といった地すべり現象に対する樹木応答特性が抽出された。とくに樹木根系を単位とした地すべり地塊運動への応答様式は、微地形スケールにおける地塊の圧縮や引っ張り等の複合変形に対応する多方向型と、より深層の同一地塊運動に対応する単一方向（面積増大）型の2タイプに区分された。また土石流攪乱林において地形条件の異なる立地を対象に年輪幅解析を行ったところ、各個体が示す年輪幅時系列の変動パターンは土石流の攪乱度合いに左右されていることが明らかとなった。なかでも土石流攪乱を頻繁に受けてきた強度攪乱域（流路との距離が近く比高の低い地形面）に生育する樹木群は、弱度攪乱域に比べて年輪幅変動の個体間 t 値が低い、すなわち同調性が低いことが示された。さらに土石流非攪乱域で作成した標準年輪幅時系列を用いた立地間 t 値の比較検討から、土石流攪乱の影響をより強く受けていた立地に生育する樹木群は立地間 t 値が低かった。一方、海岸林では、周辺樹木との位置関係や砂丘比高等の微空間スケールで海風の影響が異なることから、海風攪乱に対する応答がバラつき、強い攪乱をより頻繁に受ける立地の樹木群ほど個体間 t 値は低くなつた。そしてより内陸に生育する樹木群の標準年輪幅時系列を用いた立地間 t 値の比較検討の結果、立地間 t 値の大小は立地間による海風攪乱の大小として認識された。

第4章では、樹木群の破壊・再生を含むより長期間にわたる強度の環境変動に対する樹木群応答について検討した。すなわち土石流攪乱と洪水流攪乱に対する河畔林応答を対象として、環境変動応答の特質および流域履歴について解析を行つた。土石流が頻発する扇状地の土石流堆積物中に発見された埋没樹木群のクロスディイティングを行つた結果、生立木の樹齢データと空中写真判読とによる年代空間分布データをあわせ、過去120年間の土石流攪乱履歴が明らかになつた。さらに再生樹木群の面積・分布位置・林齢は、土石流攪乱の規模・発生位置・発生年代を示すものであり、土石流攪乱に対する樹木群の応答履歴を表すものであることを明らかにした。一方、洪水流攪乱を受けている河畔林は、樹木サイズ・構造と種組成から、オオバヤナギ・ケヤマハンノキ・針葉樹・ドロノキの各優占林に四区分された。そして樹種群、調査地点、環境変量の三者についてのCCA分析の結果、各樹種の優占立地は比高、堆積物平均粒径、有機物含有率等の河畔環境因子によってそれぞれ特徴づけられること、さらに相対優占度と立地安定時間との関連から、河畔林の破壊・再生には河床変動の発生頻度と規模が密接に関与していることが確認された。すなわち河畔林の多様な構造・種組成は、多様な洪水流攪乱に対する樹木群の応答履歴を示すものであることが明らかになつた。

第5章では、樹木群の環境変動応答の時空間特性について総合考察を行つた。立地環境変動が複数個体の生育圏に同時に影響を及ぼすような空間規模で生じた場合には、樹木応答が個体間に時間差が無く現れることから、これを環境変動に対する「応答の同時性」とし、また、ある立地環境変動に対応してその影響域の樹木が応答を繰り返すとき、これを「応答の反復性」と規定した。さらに、これら応答の同時性と反復性が相似するときにはこれを「応答の相似性」と呼ぶこととした。したがつて、複

数個体間の相関関係を示す t 値は応答の相似性を表す指標と位置づけられ、その値が小さいほど相似性が低くしかも影響が同時に及ぶ空間規模（面積）は小さいことを意味する。一方、各種立地環境変動に対する樹木応答の反復性（頻度）は、数ヶ月から十数年までと時間規模に多様性を示した。

第 6 章では、以上のように、樹木応答に関する時空間特性の判別にもとづいた新たな流域環境変動履歴の解析手法を提示した。すなわち環境評価の対象とする地域に広く共通する標準年輪情報時系列を作成し、これを尺度として当該立地で生育する樹木年輪情報時系列との相関分析を行うことによって、その立地で卓越する環境変動要因の影響度と影響範囲を抽出する流域環境の評価と流域履歴解明の新手法として提起した。

学位論文審査の要旨

主査 教授 新谷 融
副査 教授 矢島 崇
副査 教授 中村 太士
副査 助教授 山田 孝

学位論文題名

樹木群の流域環境変動に対する応答履歴解析に関する研究

本論文は、図49、表17を含む総頁数154の和文論文であり、他に参考論文9編が添えられている。

流域環境変動の評価手法の構築にあたっては、攪乱現象の流域環境変動履歴における時空間的特性解明が必須である。とくに森林樹木群は流域生態系の主構成要素であり、その環境変動応答を時空間解析することによって変動履歴を解明することが可能と考えられる。本論文は、環境変動にともなう樹木群応答の解析手法の構築による流域変動履歴の解明を目的としたものである。

第1章では研究方法について述べている。流域空間の支配的環境変動要因は立地ごとに異なり、上流域では地すべり・崩壊・土石流、中～下流域では河床変動（洪水流）、最下流域では海風・飛来塩分などの環境変動が樹木群の生育に大きな影響を与えていていることを指摘し、これら攪乱（環境変動）要因ごとの樹木群応答特性について時空間解析を行う意義と方法を論じている。そして研究対象地に、地すべり攪乱林：白老川中流域の森野地すべりトドマツ林（造林地）、土石流攪乱林：利尻島オチュウシナイ川上流域の扇状地林、洪水流攪乱林：十勝川・石狩川上流域と沙流川中流域の河畔林、海風攪乱林：天塩川最下流域の稚咲内海岸砂丘林を設定したことを述べている。

第2章では、地すべり斜面の樹幹傾倒、河畔域の樹木群変形、海岸砂丘の樹冠偏倚などの樹木群外観形状特性について解析を行っている。その結果、地すべり地内において傾度・傾倒方向が相似する傾倒樹木群の空間分布はブロック運動の反映であること、河畔域の変形樹木群の発生割合は出水規模と河畔立地（最低河床からの比高と流路からの距離）に強く影響を受けていること、海岸林の樹冠偏倚度合いの差異は汀線微地形と風速・飛来塩分量の差異によるこ

など、樹木群の特異外観形状と環境変動との強い関連性を示唆している。

第3章では、立地環境変動応答による樹木年輪変異であるアテ情報と年輪幅変動について解析している。まず地すべり攪乱林のアテ解析から、新ブロックは旧ブロックにくらべ応答の同時性・反復性が高いことを指摘するとともに、ブロック運動の発生・方向変化・傾斜増大への応答様式を、樹木根系を単位とした圧縮・引っ張り変形による多方向型と、深層運動による單一方向（面積増大）型に区分している。ついで土石流攪乱林の年輪幅時系列と非攪乱域の標準年輪幅時系列との比較から、土石流応答履歴に関する立地間差異の相対評価を行うとともに、年輪幅時系列の個体間相関から高頻度攪乱域（流路に隣接、低比高）では応答の同調性が低いことを明らかにしている。さらに海風攪乱林でも非攪乱域の標準年輪幅時系列との比較検討から、海風攪乱の立地間差異により樹木群の攪乱応答履歴は異なること、海風環境が微空間スケール（周辺樹木・砂丘比高等）で異なるため応答が個体間でバラつき、強度攪乱域では同調性が低いことなどを明らかにしている。

第4章では、長期間にわたる強度の環境変動（土石流・洪水流攪乱）による河畔林応答（破壊・再生）について解析を行っている。まず土石流堆積物中の埋没樹木群のクロスディティング結果と樹齢データ・空中写真判読による年代空間分布データとの照合から、過去120年間の土石流攪乱履歴を解明するとともに、再生樹木群の面積・分布位置・林齢が土石流攪乱の規模・発生位置・発生年代を示すことを明らかにしている。また洪水流攪乱河畔林（オオバヤナギ・ケヤマハンノキ・針葉樹・ドロノキの各優占林）のCCA分析（樹種群・河畔立地・環境変量）から、各優占立地が比高・堆積物平均粒径・有機物含有率等の河畔環境因子によって支配されること、そして各因子が洪水流攪乱の頻度と規模に密接に関与していること、したがって河畔林の多様な構造・種組成は多様な洪水流攪乱応答により形成されることを明らかにしている。

第5章では、樹木群の環境変動応答の時空間特性について総合考察を行い、樹木群応答が個体間に時間差が無く現れる「同時性」は、環境変動が複数個体の生育空間に同時に及ぶ時期と規模（面積）を示す指標であること、また応答の同時性・反復性からなる「年輪幅変動の同調性」は個体間・立地間 t 値がその指標となることなどの新知見を得ている。

第6章では、樹木群の外観・齢構造・種組成の類似度と、個体・立地間ににおける年輪幅変動の同調性の判別にもとづく流域履歴の相似性評価の新手法を提起している。これは、まず変異外観を示す樹木群の判別と変異度判定による樹木群生育空間（立地）の類型化、ついで各立地における年輪時空間情報を用いた樹木群応答履歴の解析、さらに広域に共通する標準年輪幅時系列

の作成とこれを尺度とした当該立地樹木群の年輪幅時系列との相関分析を行うものである。この一連の方法を、その立地で卓越する環境変動要因の影響度の相対的評価と影響範囲の抽出を可能とする環境変動評価手法として新たに提起している。

以上のように本研究は、流域環境変動にともなう樹木群応答の解析手法を構築したものであり、その成果は学術・応用両面から高く評価される。よつて審査員一同は、菊池俊一が博士（農学）の学位を受ける十分な資格があるものと認めた。