



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Effects of Thick Clay Layers on Hydrological Processes in Headwater Catchments Underlain by Impermeable and Permeable Bedrock [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	吉野, 孝彦
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第15304号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/89871">https://hdl.handle.net/2115/89871</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Yoshino_Takahiko_abstract.pdf, 論文内容の要旨



# 学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称： 博士（農学）

氏名 吉野 孝彦

## 学位論文題名

### Effects of Thick Clay Layers on Hydrological Processes in Headwater Catchments Underlain by Impermeable and Permeable Bedrock

(厚い粘土層が不透水性・透水性基岩を有する山地源流域における水文プロセスに与える影響)

山地源流域にもたらされた降雨は斜面に浸透して斜面内部を移動し、やがて河川へ流出する。この過程で河川の流量や水質が決定され、また斜面崩壊等の土砂災害を発生させることから、防災・減災や社会経済活動の維持、環境保全等の観点から山地源流域における水文プロセスを明らかにすることは極めて重要である。山地源流域は一般に、透水性の低い基岩層の上に透水性の極めて高い土層が載る構造となっている。これまでの研究により、基岩層が実質的に不透水性の場合、基岩層がこれ以深には水がほとんど浸透しない「基盤面」となり、表土層（有機物由来の土層）および風化層（基岩層の風化物で構成される土層）内の水移動が主となる一方、基岩層の透水性が不透水性基岩と比べて高い透水性基岩の場合、表土層・風化層に加えて基岩層にも水が浸透し、各層内を水が移動することでそれぞれ水文プロセスに寄与することが明らかにされてきた。蛇紋岩、凝灰岩、泥岩等の地質を有する流域では、風化層が粘土で構成される場合がある。粘土層は一般に透水性が低いいため単に基盤面として働くと考えられ、これまであまり注目されてこなかった。一方、粘土層への水の浸透や粘土層からの流出が水文プロセスに寄与していることを間接的に示唆する研究結果も一部報告されている。粘土層を形成する地質は世界に広く分布しており、また粘土層が斜面崩壊等のすべり面として働くことも考えると、粘土層に着目して直接的かつ詳細な斜面内部の観測等を実施し、水文プロセスに対する粘土層の影響を多角的に解明する必要があるが、これまでそうした研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、風化層が厚い粘土で構成される不透水性基岩の蛇紋岩流域（0.068 ha）および透水性基岩の凝灰角礫岩流域（3.3 ha）それぞれで詳細な観測等を実施することにより、粘土層が山地源流域の水文プロセスに与える影響を明らかにすることを目的とした。

蛇紋岩流域（不透水性基岩の流域）では、表土層・粘土層内の水移動に着目した。本流域の表土層は最大 50 cm 程度と薄く、一方で粘土層は最大 170 cm 程度と厚い。本流域では、表土層・粘土層内の地下水位・圧力水頭の観測および各層の地下水の水質・水温観測を実施した。また、表土層・粘土層からコアサンプルを採取し室内試験を実施することで、水分特性を実測した。室内試験の結果から、表土層は高透水性で大孔隙に富む一方、粘土層は低透水性で大孔隙に乏しいことが明らかになった。また地下水位観測によって、粘土層内に表土層-粘土層境界付近に地下水面を持つ地下水帯が形成されていること、無降雨時でも表土層内に地下水帯が形成されていることが確認された。さらに地下水位・水温観測から、降雨時は粘土層が従来の理解通り基盤面として働き、表土層を通じて雨水を素早く流域外へと流出させることが明らかになった。一方で、無降雨時に表土層内に形成された地下水帯の水質から、この地下水帯の起源は粘土層内に形成された地下水帯であることが明らかになった。粘土層内地下水が表土層へと復帰する経路を探るため、圧力水頭と水分特性から水移動フラックスを計算したところ、降雨時は表土層から粘土層へと鉛直下向きの飽和・不飽和フラックスが

生じるが、無降雨時に表土層と粘土層が乾燥すると、粘土層から表土層への上向きの不飽和フラックスが生じることが明らかになった。観測期間中の上向きの不飽和フラックスの合計は 172.5 mm で、上向きのフラックスが観測された期間に対して観測地下水位から計算した表土層内の地下水流フラックスの合計 (9.76 mm) に比べ非常に大きかった。本流域の蒸散量を考慮しても、観測された粘土層から表土層への上向き不飽和フラックスは、無降雨時の表土層内の地下水帯を形成するのに十分な量であった。これらの結果から、不透水性基岩を有する山地源流域において、粘土層は降雨時に基盤面として働きつつも粘土層内に雨水を一部浸透させ、無降雨時は粘土層内に浸透・貯留された水を表土層へと上向き不飽和フラックスとして供給することが示された。

凝灰角礫岩流域（透水性基岩の流域）では、表土層・粘土層・基岩層内の水移動に着目した。本流域では、厚さ 1 m 程度の表土層の下に、著しく透水性の低い粘土層が非常に厚く（最大 4 m）形成されており、粘土層の下には粘土層より透水性の高い基岩層が分布する。また、流域末端部では表土層内に地下水帯が形成されるとともに、粘土層の上を流れて滲出する湧水が確認されている。本流域では表土層・粘土層・基岩層を対象に、地下水位・圧力水頭、地温・地下水温、水質の観測を実施した。また、湧水を対象に、湧水流量・湧水温・水質の観測を実施した。地下水位・圧力水頭の観測結果から、表土層・粘土層・基岩層内に別個の地下水帯が形成されており、それぞれ降雨に反応して拡大・収縮していた。このことから、粘土層が基盤面として働く一方で、水が粘土層を通過して基岩層へも浸透していることが明らかとなった。圧力水頭から水の移動方向を解析したところ、降雨時・無降雨時に関わらず、表土層から粘土層への鉛直下向きの流れが生じていた一方、斜面末端部の粘土層内地下水帯では恒常的に鉛直上向きの流れが生じていることが確認された。各地下水帯のラグタイム（降雨開始から地下水位・圧力水頭の上昇開始までに要する時間）、各地下水帯の拡大・収縮、そして水質・水温の観測結果から、流域末端部に形成される表土層内地下水帯、そして湧水の起源は粘土層内地下水であることが明らかになった。基岩層内地下水位は恒常的に高く、降雨時には度々粘土層-基岩層境界より高い位置まで上昇するものの、基岩層内地下水の表土層内地下水帯や湧水への影響は確認されなかった。これらの結果から、本流域では、著しく透水性の低い粘土層が基岩層内地下水の流出を阻害していることが示唆された。流域末端部で観測された粘土層内地下水帯の上向きの流れは、この地下水流出の阻害によって粘土層深部の圧力が上昇した結果生じたと考えられた。

最後に、各流域における水文プロセスに粘土層が与える影響の違いが生じる要因について考察を加えた。不透水性基岩の流域では、基岩への水の浸透が生じないため、粘土層内の地下水位が高く維持され、極端に乾燥する表土層との圧力水頭のギャップが大きくなり、表土層への上向きフラックスが生じると考えられた。一方、透水性基岩の流域では、粘土層から基岩層へ水が浸透できるため、粘土層内の地下水位は低下し、表土層への上向きフラックスは生じない一方、著しく透水性の低い粘土層が基岩層内地下水の表土層への流出を阻害していると考えられた。

以上から、本研究では、山地源流域における水文プロセスにおいて、粘土層が不透水性・透水性基岩いずれの流域においても基盤面として働くのみならず、基岩の透水性に応じていったん粘土層に浸透し貯留された水を表土層に供給したり、基岩層へと浸透した水の表土層への流出を阻害したりするなどの影響を与えており、主要な水移動の場として山地源流域の水文プロセスに大きく関与していることを示した。