

<h2>学位論文要旨</h2> <p>(Summary of the Doctoral Dissertation)</p>	
学位論文題目 (Dissertation Title)	砂岩中のレンズ状空隙と地下水流動の関係 —高知県土佐市における秩父帯鳥巢層群の例—
氏名(Name)	須内 寿男
<p>硬質岩盤の透水性は、二次孔隙の発達しやすい炭酸塩岩などを除き、基本的に割れ目の分布、開口の程度、連結性などにより規制されているが、割れ目以外の空隙が地下流体の浸透性に寄与している事例の報告は石油や天然ガスの貯留岩を除けば限られている。とくに方解石脈など鉱物脈の溶解と地下水流動の関係については、報告例が少ない。本論文では水源調査のために高知県土佐市谷地(やつじ)において秩父帯鳥巢層群の砂岩層に掘削されたボーリングコアにおけるレンズ状空隙が地下水流動に寄与していることを示し、レンズ状空隙の形成過程を明らかにした。</p> <p>研究方法としては、地質踏査、掘削深度150mのボーリングコア観察、ボーリング孔を利用して実施した地下水検層、ボーリングコアを用いたP波速度測定、かさ密度測定、電磁探査法(Controlled Source Audio-frequency Magneto Telluric法、以下CSAMT探査と呼ぶ)、ボーリング孔の約2m隣に掘削された深度150mの岩盤井戸から採取された地下水および周辺沢水の一般水質分析および酸素水素の安定同位体分析を行った。またGMT(Generic Mapping Tools)を用いて地形解析を行った。</p> <p>土佐市谷地付近を含む周辺地域は、東西方向の地質構造に規制された地塁・地溝が数条並んでいる丘陵地帯である。谷地地区はこれらの地塁のひとつに位置する。同地区の西側は構造盆地である佐川盆地であり、起伏量など地形的特徴からNNW走向の断層が存在する可能性が高いことを明らかにした。CSAMT探査および地質踏査により、ボーリングおよび井戸付近を北北西—南南東方向の断層が通っており、付近は地下水で飽和した割れ目が浅部から深部まで発達していると推定した。</p> <p>ボーリング孔で実施した地下水検層ではいくつかの区間において地下水流動区間が認められ、少なくとも1区間では被圧していることが比抵抗変化パターンやボーリング掘削中の水頭変化から明らかである。</p> <p>ボーリングコアの大部分を占める砂岩層には石英脈および方解石脈が多数認められ、これらの一部には溶解が認められる。鏡下の観察によりレンズ状空隙は方解石が溶解して形成されたものと推定される。レンズ状空隙の分布は一様ではなく、同空隙の発達している区間は上述の地下水流動区間のうち主要な区間と一致する。またほぼ1m間隔で測定したコアのP波速度と、かさ密度から推定した空隙率の深度分布は、同空隙の傾度分布および地下水流動区間と概ね相関していることから、レンズ状空隙は地下水流動に寄与していることが明らかとなった。そのほか、レンズ状空隙を有する脈は充填脈に比べて緩傾斜のものが多いことがわかった。</p> <p>井戸近隣の沢水の一般水質は、調査地域の西部を除き不飽和である。井戸水の分析結果は方解石に過飽和であるが、これは地表に汲み上げた採水試料であり、原位置ではCO<sub>2</sub>分圧が高く不飽和となっている可能性がある。井戸近隣の沢水のδ<sup>18</sup>Oと流域平均標高の関係は負の相関があり、天水の高度効果が認められる。井戸周辺沢水および流域平均標高の回帰式から井戸水の起源は、地区南部の標高300m以上の流域であると推測される。地質踏査およびCSAMT探査よりレンズ状空隙を形成した地下水は、南部の高標高部より、方解石に不飽和な状態で北北東—南南東方向(NS系)の急傾斜の断層あるいは同方向の節理群を通路として井戸付近まで流動していると考えられる。</p> <p>調査地周辺の接峰面図および既往の研究より、大局的な地形は中期更新世には形成されつつあったと推測され、現在の地溝・地塁や盆地は純平原が隆起・陥没して形成されたものと考えられる。</p> <p>以上の検討の結果、本研究により以下の知見が得られた。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>①高知県土佐市の秩父帯鳥巢層群砂岩には、一部の方解石脈が溶解して形成されたレンズ状空隙が発達する。</li><li>②これらのレンズ状空隙は、砂岩層の空隙率・透水性の高さと地下水流動に寄与している。</li><li>③一般水質および酸素水素安定同位体分析結果から、レンズ状空隙は井戸から南方1km程度にある標高300m以上の流域を起源とする地下水によって形成されたと推定される。</li><li>④レンズ状空隙を形成した地下水は、方解石に不飽和な状態でNNW走向の急傾斜割れ目を通して流入し、これと交差する緩傾斜の方解石脈を溶解していったと推測される。</li><li>⑤砂岩中のレンズ状空隙の密集帯は溶解ゾーンを示しており、地下水流動経路の指標として応用地質学上重要な地質要素の一つとなることが期待される。</li><li>⑥レンズ状空隙の形成過程は次のように推定される。<ol style="list-style-type: none"><li>(ア)砂岩層が堆積し半固結ないし固結した後の構造運動による割れ目群の形成</li><li>(イ)割れ目への石英および方解石の晶出による充填</li><li>(ウ)周辺山地の隆起、地溝・地塁および盆地の発達に伴う急傾斜のNS系開口割れ目の形成</li><li>(エ)南部の高標高部からの方解石に不飽和な地下水流動によるレンズ状空隙形成、被圧地下水流動系の形成</li></ol></li><li>⑦このような地下水流動状態は第四紀以降活発になった四国島の隆起運動により形成されたと考えられる。</li></ol>	

(様式 14 号)

## 学位論文審査の結果及び試験，試問の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	須内 寿男
審査委員	主 査： 坂口 有人
	副 査： 太田 岳洋
	副 査： 志村 俊昭
	副 査： 川村 喜一郎
	副 査： 辻 智大
論文題目	砂岩中のレンズ状空隙と地下水流動の関係 －高知県土佐市における秩父帯鳥巢層群の例－ (Lenticular Pores and Groundwater Flow in Sandstone –An Example of the Torinosu Group, Chichibu Belt in Tosa City, Kochi Prefecture－)
【論文審査の結果及び試験，諮問の結果】	
<p>従来は地下深部の硬質性岩盤は透水性が低く、地下水は断層や開口亀裂に沿って移動し、亀裂が結晶鉱物によって充填され鉱物脈が形成されることで岩盤は透水性を失うと考えられてきた。本研究はカルサイト結晶によって充填された鉱物脈を多数含む硬質性岩盤が、深部から隆起するにともなって地表付近の地下水流動によって鉱物脈中のカルサイトが溶解して、岩盤中に再びレンズ状空隙が生じ、これが発達することによって新たな透水ゾーンが形成されることを地形解析、物理探査調査、ボーリングコア観察、微細組織観察、地下水同位体分析から明らかにした。</p> <p>本論の研究対象は、四国秩父帯鳥巢層群の砂岩層である。高知県土佐市谷地におけるボーリング探査において、この砂岩層に多数のレンズ状空隙が発達していることが確認された。このサイトは地形的なりニアメントにあたり、それは電磁探査による低比抵抗帯と一致しており、地下深部まで発達する特異的な地下水脈となっている。岩盤中のレンズ状空隙は孔内カメラ画像、X線CTによるコア試料の三次元解析から、互いに連結している亀裂であることが確認され、地下水流動に寄与していると考えられる。孔内トレーサーによる地下水流動の現地調査では、レンズ状空隙のゾーンから地下水が供給されていることが確認された。地下水の化学分析および同位体分析は、本サイトの地下水はサイト南方 1 km の標高 300m の山地を涵養源として岩盤中を移動してきたことを示唆する。</p> <p>このような脈鉱物の溶解による亀裂の再開の研究事例は数少なく、それによる岩盤の透水性が向上することを多面的で信頼性の高いデータにより明らかにした点が新しい。そして岩盤中のこの新しい透水機構は、ダムサイト、地下水利用、天然ガス等の地下貯留、核廃棄物処分などの評価に影響を与えるであろう。</p> <p>公聴会における質疑として地下水の流路と被圧メカニズムについて確認の質問があった。これ</p>	

に対して地形や地質学的背景、観察事実、分析データと、そこから導かれる解釈が整然と説明された。そのほかレンズ状空隙の形成メカニズムと、レンズ状空隙同士の連結関係について確認の質疑があったが、孔内組織、コア観察、偏光顕微鏡観察、X線CT観察の結果から、レンズ状空隙の分布と形成プロセスについて観察事実とそこから導かれるモデルが丁寧に説明された。

さらに審査員からは、次の質問がなされた。

- (1) 本論の新しいモデルに対して、開口亀裂中の地下水が被圧されるメカニズムについて、何がシールの役割を果たすと考えられるのか
- (2) このようなレンズ状空隙に対する応用地質分野における評価手順はどうあるべきか  
これらに対して、きわめて丁寧かつ具体的で満足いく回答がなされた。

本論は多角的な視点から硬質性岩盤の新しい透水機構の発達機構を示し、そしてその評価方法を示す斬新かつ包括的な内容である。そして博士論文としての完成度も高い。以上より、本研究は新規性、信頼性、有効性に優れ、博士（理学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容および審査会、公聴会での試問応答など総合的に判断して、最終試験は合格と判断した。

関連論文の発表状況 査読付き関連論文数：2編

須内寿男・宮田雄一郎・田中和広、砂岩中のレンズ状空隙と地下水流動の関係 —高知県土佐市における秩父累帯鳥巢層群の例—、応用地質、61、170-182, 2020 (査読のある雑誌)

Sunouchi, H. and Miyata, Y., Geomorphological analysis tool based on the generic mapping tools, 10th Asian regional conference of LEAG, 1-6, 2015 (査読のある国際会議の会議録等)