

氏名・（本籍）	あら 荒	かわ 川	とおる 透
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理第	801	号
学位授与年月日	昭和60年9月25日		
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当		
最終学歴	昭和24年3月 東北大学理学部卒業		
学位論文題目	常磐地域の水理地質学的研究		
論文審査委員	（主査） 教授 北村 信 教授 小高民夫 教授 高柳洋吉		

論 文 目 次

序 論

I. 研究史

II. 地質および地質構造

1. 層序概説

(1) 古期岩類 (2) 中生界 (3) 第三系 (4) 第四系

2. 地質構造上の特徴

3. 岩石物性とくに透水性について

(1) 岩石強度と透水性 (2) 電気検層による帯水層

III. 表層水系と浅層地下水

1. 夏井川水系と浅層地下水

(1) 夏井川, 好間川の収支流量測定 (2) 下小川, 平地区 (3) 下神谷, 夏井川河口地区

2. 藤原川水系と浅層地下水

3. 西部湯の嶽山麓における河川水の滲透

4. 鮫川水系と浅層地下水

(1) 山田町地区 (2) 鮫川の収支流量 (3) 佐糠町鮫川河口地区

IV. 深層地下水理

1. 地層の水理的特徴

(1) 山地基盤岩中の地下水と裂か (2) 深層地下水の函養と帯水層

2. 水質からみた浅層地下水と深層地下水

(1) 浅層地下水の水質 (2) 深層地下水の主要化学成分の相関 (3) 深層地下水水質の長期観測と水質組成による分類

3. 地下水位の変化

(1) 白坂層以深の被圧地下水位 (2) 揚水量と水位の変化 (3) 白坂層以深の被圧地下水の回復水位

4. 地温と地下水温

(1) 浅層地下水温 (2) 深層地下水温 (3) 深層地温

5. 地下水の地質構造支配

V. 結 論

論文内容要旨

緒言

福島県いわき市を含む常磐地域は、西方の阿武隈山地に楔状に喰い込んだ低平丘陵地帯で直接太平洋に面している。阿武隈山地は標高800 m前後の平頂山塊で主に古期花崗岩類によって構成されている。この東方に連なる第三系分布地域は、本研究の対象となる常磐地域で標高100～300 mの丘陵地帯である。調査区域の北部には夏井川、南部には鮫川が太平洋に流入している。夏井川水系と鮫川水系に挟まれた区域は、かつての常磐炭田の中心部で日曹赤井炭砒、古河好間炭砒、常磐炭砒などでは、石炭採掘時に多量の高温度深層水が湧出した。1959年には、日曹赤井炭砒が閉山し、常磐炭砒は深部採掘に移行したため湧水量が増大し、1961年には常磐炭砒からの揚水量は130,000 m³/dayに達した。1969年に古河好間炭砒が閉山し、1976年には、常磐炭砒も閉山するにいたった。

本論文は以上の深層地下水理の結果をもとにして、常磐地域における表層水系と浅層地下水および深層地下水との相関、深層地下水函養と地質構造との関係を論じたものである。

地質および地質構造

本研究地域の地質構造を最も特徴づけるものとして、二つ箭断層、赤井断層、湯の嶽断層がある。これらの断層は、大きくみて南北方向を保つ阿武隈山地に楔状に割り込んだもので共に北西-南東走向で南側落ちの性質をもっている。これらの断層は海岸に近づくにつれて東西性の断層を分岐させている。第三系の走向、傾斜は地域の西半部では北西-南東で盆地構造を形成している。北西部では、白水層群が基盤岩の上に直接不整合に重なるが平駅-小名浜港を結ぶ以東の地下では、足沢層に対比される白垂系が基盤をおおって分布し、その上に不整合に白水層群が重っている。そして下位の白水層群から高久層群までの地層が盆地構造の中心に向かって累重している。

表層水系と浅層地下水

常磐地域の地下水は浅層地下水と深層地下水に大別される。浅層地下水は、夏井川水系、藤原川水系、鮫川水系に分けられる。夏井川水系の浅層地下水については、井水位の長期日かんそく、電気探査、現場揚水試験、夏井川、好間川の収支流量測定した。その結果、上中流河川沿いの沿岸部で豊富な地下水の帯水層が発達している。藤原川水系の浅層地下水調査は上流部の湯の嶽山麓では各河川の流域別流出量日観測を実施して流出係数を求めた。これら河川水の地下浸透率を算出したが、これらの地域は、地下の炭層を採掘した地域で降雨時にも、河川流量がさほど増大しない地域であった。調査結果では、流出係数が0.24%でかなり小さい。藤原川中流部の西郷地区では代表的井水の水温水位の長期観測を実施し、以下藤原河口までの間は、沿岸部で5ヶ所をボーリングによる土質調査と現場揚水試験を実施した結果では、全般的に泥質堆積物の割合が多く一部には粗粒砂、中粒砂など一部には粗粒の堆積物もあるがあまり発達せず相互の連絡も限定され地下水の流動は小

さい。鮫川水系の浅層地下水は、山田町法田より鮫川河口までの低地は鮫川によって解析された氾濫原平野である。法田では、0.5 mmの微細砂よりなる表土の下は、礫径数cmから0.5 mにおよぶ砂礫が第三系石城層を基盤とする砂岩層に15 mの厚さで累重する。透水係数はこの地区附近では $2 \sim 9 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ の高い値である。また収支流量測定した結果では、いずれも地下水に水を供給する滲入河川である。

深層地下水

深層地下水は白坂層以浅の地層に帯水する地下水と白坂層以深の深層地下水に分けられる。以浅のものは、主として多賀層群下部、水野谷層、五安層に発達し、以深のものは石城層、白亜系地層および阿武隈古期岩類の断層、裂かに貯溜されているものである。更に石城層の稼行炭層（3番層）下盤に約30～50 mの厚さをもつ頁岩を挟んでこれより上位のものを上位水系、下位のものを下位水系と呼称し、この上下位系を総称して白坂層以深深層地下水と呼ぶことにする。これら水系のうちで下位水系の水位（水圧）は常に高く、炭層採掘時の不時出水によって災害をもたらす水系は下位水系である。上、下位水系間の不透層強度について岩石物性面より調査した。白亜系では約 800 kg/cm^2 石城層は $50 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$ の一軸圧縮強度で概して上位の地層程小さい値を示している。地下水の多層構造を示す累層を坑道によって連繋したとすると、被圧地下水中に流動が起り、不透水層中に偏圧部が発生するとともに、下盤の膨張や亀裂が生じ、一軸圧縮強度にバラツキが生ずる筈である。しかしながらこのような変化はみられず本地域では帯水層の多層構造が保たれているものとみなされる。また帯水層の深度、層厚、分布について電気検層を実施した結果によると、多賀層群、水野谷層上部、五安層、石城層がもっており特に五安層、石城層の帯水能力が大きい傾向を示している。

山地岩盤の裂かの形態性状と被圧地下水函養との関係を調査するため岩盤のき裂（割目）の裂か率を測定した。測定場所は湯の嶽南部田場坂より水石山北方までの 50 km^2 の区域で、それによると古期岩類露出地の裂か率は、一般に石城層露出地に比較して小さい。また古期岩類裂か率の大きい地域は、大きな断層の走る地域で、石城層の裂か率は、古期岩類裂か率の倍の0.6%である。

水質からみた浅層地下水と深層地下水

水質分析について浅層地下水はさく井から湧出した50ヶ所について分析し、深層水については、調査区域内の湧水しているところ、湧水した試錐孔、および日曹赤井坑、古河好間坑、住吉一坑、二坑、川平坑、綴坑、湯本四坑、五坑、六坑、鹿島坑、磐崎坑の各坑坑内の湧水している地点合計500ヶ所について分析した。分析項目については約17成分について分析し、地化学面からの解析資料とした。浅層地下水の水質では、夏井川沿岸のものはPHは酸性寄り而下流では中性ないしアルカリ性である。藤原川沿岸の小名浜では、PH8前後のアルカリ性を示す。同様に勿来の鮫川沿岸での上流は、PH6であるが下流の須賀地域で6～8のアルカリ性を示している、浅層地下水の水質についてキーダイヤグラムにより水質区分をするとⅢグループのアルカリ非重炭酸塩との中間型に属していて水質からみると一般海岸平野に分布する浅層地下水の性質を示し、Cl⁻少なくSO₄の

比較的多い特徴をもっている。深層水の水質について主要化学成分との相関から検討すると以下のとおりである。ClとNaには、正の相関関係がある。

ClとHCO₃との関係では、明瞭な相反関係、ClとSO₄は相反関係、ClとCaはCl > 60 m val で相関関係を示す。ClとIの関係では、 $X=I$ $Y=Cl$ とすると $Y=582.34+1229.5X$ で表わされ正の相関関係みられる。Iの最も多いものは磐崎坑で最高2.7mg/lを示し、I/Clは 6.4×10^{-4} で海水の 2.64×10^{-6} に比較して著るしいIの濃縮が生じている。Br/Clが海水に極めてよく類似しているに反してI/Clが高い値を示しているので、このことから高温の深層水の補給が直接現海水より送り込まれると考えることに無理があって、油田かん水～ガス付随水にみられる化石水的貯溜水が想定される。ClとHBO₂の関係は、正の相関関係を示し、特にCl > 500 mg/lで著るしく海水のHBO₂/Clより多くこのことでも化石水的貯溜水の水質を示している。SO₄とHCO₃との関係についてはSO₄の多いものにHCO₃が多い傾向がある。HCO₃と湧水深度の関係では相反関係があるが、むしろ浅部の旧坑古洞水、溜水にHCO₃がより多く含まれている傾向がみられる。ClとBrとの関係では極めて明瞭な相関関係を示し、Clを標準として海水と比較した場合、Br/Cl = 3.44×10^{-3} と極めてよく一致し、両者の相関関係の回帰直線は $Y=74.98+282.39X$ となる。

このようにBrとClの比が海水と極めてよく一致することは、現海水の侵入によるものか、化石水的貯溜水によるものかより、Clの根源が海水であると考えべきである。しかしI、HBO₂が海水より多いことは化石水的貯溜水とみるべきであろう。

主要陽イオンと陰イオンの水質組成（ミリバル%）を菱形座標図で検討すると、3つのグループに大別される。第1のグループはCl:SO₄=99:1(m val %), Ca+Mg:K+Na=40~70:30~60である。これは深部から湧出した高温の化石水的貯溜水とみられるグループである。第2のグループは、Cl:SO₄=60~80:20~40, Ca+Mg:K+Na=20~50:50~80, これは第1のグループに降雨に由来する冷地下水が混入したものである。第3のグループは第1、第2グループに属しないものでClが50%以下でSO₄が50%以上のものである。このグループは降雨に由来する冷地下水が滲透したものであると考えられる。

深層水水質の最期勸測結果についてのべると磐崎坑水（磐崎坑中央第二斜坑湧水、海水準下438m, 51℃）。住吉坑水（住吉本坑第二本線湧水、海水準下694m, 58℃）、綴坑（綴坑中段本坑ダム、海水準下181m, 42℃）についてCl成分の長期継続分析をした結果では、逐年減少している。

水質組成からみた深層水を分類すると、-イオンではSO₄, Cl+イオンではNa, Caが多く、浅部ではSO₄>Cl, 深部ではCl>SO₄であって、+イオンでは浅部ではCa, Naほぼ伯仲して-イオンではSO₄>HCO₃>Cl, 深部ではNa>Caを主成分としてHCO₃, CO₃またSO₄, O₂の酸化的因子も少ない。Clは、SO₄と共に深層水の2大成分によって代表され、深層水のCl成分は1000~2000PPM程度のものが最も多くみられる。しかし、深ガス試錐の結果、石城層、五安層に、ガス付随水とともに15000PPMの高かん水がみられる。同様に鹿島坑の海水準下1000mの深度から14800PPMの高かん水が湧水した。これは海水Cl成分の80%である。

Cl成分の根源が海水の滲透によるものであるとすると、高温水脈の消長によって海水の滲透が左右されCl成分もまた不規則な増減を示すものであるが長期継続観測結果では、一様に少しずつ減少している。またCl成分の根減が化石水ならば深部に湧出する高温水は長年間に地層中を流動することによりCl成分が稀薄になってゆく可能性があるが長期観測結果では稀薄になっている。またBr/Clが海水に極めてよく類似してI/Clが海水より高い値をもっている。また深部を採掘している坑内では炭層採掘に伴う過剰揚水によって地下水位の低下を来し海水の侵入を誘導するものであるがそれはみられない。更にまたClの極大値が湯本断層附近の湯本温泉脈上にあるとすれば火山性Clである。しかし、Clと温泉脈とに相関関係はみられない。以上の事実より白坂層地下水は、降雨に由来する冷地下水と化石水の貯溜水と両者の混合した混合水が大部分である。初生的な温泉水系については、まだ明らかでない。水系から分類するとAの水系は化学成分の殆んどない冷地下水でSO₄-HCO₃型でCl少なく250mg/l以下の淡水型である。Bの水系は混合水型で塩素量少なく高温でCl-SO₄型（Cl, 炭酸塩少くNa, SO₄を主成分とするもの、Cl, H₂S多くSO₄少ない高温水）、Cの水系は塩素量多くBの水系より低温である水系で化石水型（高温でCl, SO₄多く炭酸塩少ない）と古洞水型（低温でA, Bの混合型）に分けられる。

白坂層以深被圧地下水の回復水位

1976年常磐炭鉱の閉山に伴って揚水を中止した結果、回復水位の観測は、松久須、走熊、亀の尾、湯本、西部の各立坑で測定しているが、水位は白坂断層以北ブロック、白坂断層以南、相川断層以北の湯本ブロック、相川断層以南の磐崎ブロックの順に低くなっている。

地温・地下水温

地下水温は、地温の反映であり地温の分布は、その地域における熱源体の位置に支配されるが、地温が水温に、いかなる関係を保って影響されるか詳かでない。湯の嶽断層と赤井断層が基盤構造を支配する東西性の断層で、この断層にはさまれた地塊が地温勾配の高い地域となっている。これらの断層は基盤をも剪断する断層であって、裂かの深さが深く、深層裂かに沿う熱の供給がこの地帯で高く、北に低い状帯で行われているため南北方向に北に向かって温度分布も低下する。地温増加率等値線図により11m/°Cの高い地温分布を示すのは、常磐線泉駅から南北方向に湯本駅に達する南北方向で以北で低減する。

地下水の地質構造

基盤構造を支配する赤井断層と湯の嶽断層は東西性の構造帯で地表部では数條の雁行状副次断層の集合となっている。断層は、さらに破砕帯を伴い地下深部に達し副次断層は互に交叉しつつも全体的に一定の走向と傾斜をもつ一大裂か帯を形成している。白水層群、湯長谷層群、白土層群、高久層群、多賀層群は透水層、不透水層が垂直的に交互に累重するが水位（水圧）、水温、水質など各層ごとに異なり地下水の多層構造をつくりだしている。南北性の断層は、東西性の断層群との連繫を可能にし地下水の供給配分の役割を果たすものとなる。白坂層以深の深層地下水については、常磐各坑に湧水する冷地下水滲透補給経路の場合も、東西性の断層裂かが主な役割を果たしている。

滲透水は、このほかにも東西性の断層と交錯する小断層を通じて行われ、主として西部山地の阿武隈系古期岩類の断層、裂か部第三系の造構造運動による石城層の断層裂か部、石城層露出地域の丘陵、台地、河川河床部を通じて西部函養地帯から地下深く侵入する。常磐各坑の地下に湧水する白坂層以深深層水について、磐崎坑水、湯本六坑水、鹿島坑水の大部分が化石水的貯溜水で、冷地下水の滲透は磐崎坑水は、烏館断層群を通じて補給され、六坑水、鹿島坑水は、白坂断層を通じて補給されている。湯本四坑水、湯本五坑水、綴坑水、住吉一坑二坑水、住吉本坑水は一部に化石水的貯溜水があるが、大部分は、湯本断層等諸断層のほか、西部山地や一部地表の直上から、また白水川水系、好間川水系を通じて滲透補給されている。川平坑水は西部山地、地表の直上部から白水川水系、好間川水系を通じて滲透補給されている。日曹赤井坑水は西部山地、赤井断層群、夏井川水系、地表直上部から冷水が地下滲透補給されているものと考えられる。

論文審査の結果の要旨

地表水の滲透および地下水の函養・流動は、その地域の地質構造によって規制される。福島県いわき市を含む常磐地域は、第三系の丘陵地帯を構成しているが、背後に古期岩よりなる阿武隈山地をひかえ、前面に海岸平野を伴っているため、水理地質の研究の典型ともなるべき場所である。

荒川透提出の論文は、表流水と第四系中の浅層地下水との関係、新第三系中の深層地下水の多層構造・水質変化・流動特性等と地質構造との関係を解明したものである。

この地域における浅層地下水は、夏井川水系・藤原川水系・鮫川水系に区分され、夏井川水系の浅層地下水は夏井川中流で函養滲透と伏流滲透を繰返して、透水係数 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ cm/sec}$ の帯水層を作っている。また、藤原川水系の浅層地下水は、更に下位の第三系への滲透量 $43.6 \text{ m}^3/\text{min}$ にもおよび深層地下水への供給源となる鮫川水系の浅層地下水は砂礫を主とする第四系中で 10^{-1} cm/sec の高い透水係数をもって豊富な地下水包蔵帯となっている。

浅層地下水の水質はアルカリ非重炭酸塩類に属すに反し、深層地下水は I/Cl 比、 HBO_2/Cl 比は共に海水より高く、 Br/Cl は海水に類似している。 Cl 成分は逐年減衰しているが、地下深部の白亜系や第三系五安層中には $14,000 \text{ mg/l}$ の高かん水を含むものもある。深層地下水はABC3系に分類される。Aの水系は、雨水に由来する冷地下水 $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3$ 型で Cl 250 mg/l 以下の淡水型である。Bの水系はA水系との混合型で、 Cl 少なく高温で $\text{Cl} - \text{SO}_4$ 型。Cの水系は Cl 多く、Bの水系より低温で、化石水および古洞水よりなる。

次に地質構造と地下水の挙動との関係の吟味を行っている。それによると、破碎帯を伴い地下深部に達する赤井断層と湯の嶽断層に挟まれた地域は地温増加率 $11 \text{ m}/^\circ\text{C}$ と高く、南北方向に向けて地温勾配の低下をみてる。また、石城層露出域の平均裂つか率は 0.6% 、古期岩類は 0.3% で他の地層より多い。また、裂つか率は断層付近で高くなっている。白水層群、湯長谷層群、白土層群、高久層群の各層は、それぞれ透水層、不透水層が交互に重なって、水圧・水温・水質など各々異なる地下水の多層構造をつくり出している。また、旧常磐炭坑の地下深部に湧出する深層地下水には化石水とは別に、降雨に由来する冷地下水が断層・裂つかを通じて地下深部に滲透している。このような滲透補給は赤井断層・白坂断層・鳥館断層・寺方断層・相川断層等東西性の断層が主要な役割を果たしているほか、これ等と交る湯本断層・大沢断層等を通じても行われている。また、西部山地の断層・裂つか、丘陵台地の礫岩層あるいは白水・好間・夏井の3河川の河床部の第三系からの滲透が深層地下水の補給路となっている事が判明した。

以上の研究成果は、地質構造支配下における地下水の水理の解明に大きな貢献をしたものと評価される。よって、審査員一同は、荒川透が独立して研究を行うに十分な能力をもっていると判断し、学位論文として合格を認めた。