

会津盆地の地下水の水質～とくに鉄濃度の分布について～

庄司美由・柴崎直明（福島大学・共生システム理工学類）

要 旨

会津盆地の地下水の水質および鉄の分布を明らかにするために、132 地点において調査、採水を実施した。会津盆地を東西南北に分けて現地調査の結果と水質組成をみると、どの地域においても浅層地下水型と深層地下水型がみられた。盆地中央部の自噴井と盆地北東部の自噴井において水質が異なったことから、自噴のメカニズムが異なると考えられる。また、ORP と鉄の濃度には関係が見られ、消雪用井戸による道路の赤色の状況と地下水中の鉄の濃度は対応していると考えられる。その鉄の濃度は粘土層と関係があり、粘土層が厚くまたは薄く多層に分布している地域ほど、鉄の濃度が高いことが示された。なお、この鉄の起源は植物や火山などが考えられる。

I. はじめに

会津盆地の各地では、古くから湧水・浅井戸が生活用水や農業用水などを得るために利用されてきた。現在も地下水は生活用水・工業用水および消雪用水などの多様な用途に活用されている。

近年では市街地の都市化が進み、工業用水や消雪用水として地下水の利用量が増大し、地下水位の低下が起こっている。また、消雪用水が散水されている道路や駐車場は赤くなっているところが多くみられる。消雪用の地下水がかかり、赤くなった砂利を採取し、赤い付着物を蛍光 X 線で分析したところ、原因は鉄であることが分かった。そして、道路や駐車場の赤みは年々増すものもあれば、一冬を越ただけで赤くなる地域もあった。

鉄は地層にもともと含まれていたものであり、その起源は、地層が形成された時代の水辺に生息していた植物に由来する（日本地下水学会, 2014）ものや、火山由来のものもあり、火成岩に磁鉄鉱・褐鉄鉱などとして存在している。

そこで、会津盆地において道路や駐車場の赤色の原因である鉄に着目することにした。鉄は還元環境では、二価鉄イオンとして存在している。粘土層を挟在する帯水層にストレーナが設置されている井戸は、鉄の濃度の高い地下水を揚水していることから、本稿では、地下水に含まれる鉄

の分布を把握し、会津盆地の地質や地下水流動との関係を解明した。

II. 研究対象地域の概要

1. 会津盆地とその周辺地域の地形・地質

会津盆地は福島県の西半分を占める会津地方のやや北東寄りにあり、県内最大の内陸盆地である（図 1）。北西は飯豊山地、西は越後山脈、南は会津高原、東は背あぶり高原・磐梯山に囲まれている。地盤標高は盆地の南部と北部で高く、西側に低くなっており、最高は盆地北部の 320 m、最低は盆地西縁の 170 m である。

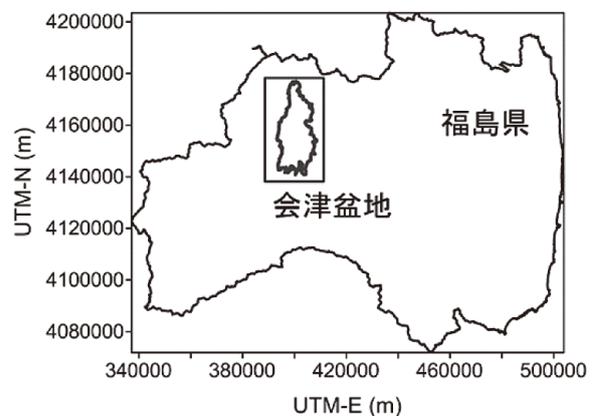


図 1 会津盆地の位置図

猪苗代湖を源とし盆地中央部を東から西に流

れる日橋川は、盆地中央部で盆地南部から流下する大川と合流し、阿賀川になる。本盆地はこの日橋川・阿賀川により、北部と南部に区分される。また、盆地内は低位段丘面ならびに諸河川をつくる氾濫原が主体を占め、いずれも微高地や自然堤防を含んでいる。

東北農政局計画部(1965)によると次のように述べられている。盆地内は最大100m以上の第四紀層で埋積されており、北縁・西縁・南縁には主に新第三紀層と新第三紀火山岩によりなる山地が発達している。阿賀野川が越後山地に入る付近から南側では、さらに第四紀更新世の地層が発達し、盆地の下部にまでもぐり込んでいる。また、東縁山地では、ほぼその北半部を占めて海拔1400mの猫魔火山が位置し、盆地側にも広い火山山麓斜面を発達させている。

また、山元ほか(2006)は次のように述べている。猫魔火山の南側には、日橋川に沿って多数の孤立小丘(流れ山)が分布するが、これは磐梯山の崩壊による翁島岩屑なだれ堆積物を作る地形である。そのさらに南側は、南に向かって高度を上げ、会津若松市東部の背あぶり高原に連続する山地である。盆地の西側には、標高300~400mの丘陵が分布する。この丘陵は阿賀川によって分断され、その北側と南側で地形はやや異なっている。阿賀川の北側の丘陵はシルト岩・砂岩を主体とする和泉層からなるため、小規模な地すべり地形が多くみられる。これに対し南側の丘陵は礫層を主とする七折坂層上部からなるため、谷頭侵食による細かい枝谷が発達する。また、丘陵の頂部には、塔寺層の基底面にほぼ連続する小起伏面が認められ、侵食面と考えられる。

2. 会津盆地の気象

気象庁による地域気象観測システム(AMeDAS)若松観測所において、降雨量、風向・風速、気温、日照時間、降雪量などの気象データが観測されている(気象庁HP, 2014)。そのデータをもとに、

2012~2014年と平年値(1981~2010年)の月平均気温および月合計降水量をまとめたものを図2に示す。

気温は2月から8月にかけて上昇し、8月から1月にかけて低下している。3年間とも同じ気温変動をしていることが分かる。また、2012年は8月に26.9℃を記録したのち、9月以降は2013, 2014年を下回っていることから、3年間の中で変動が大きいことがわかる。

降水量は7~12月にかけて比較的多く、1~6月は少ない。2012年は年降水量が1044.0mmとなり3年間の中で降水量が一番少ない年であった。逆に、2013年は年間降水量が1314.0mmと3年間の中で一番多く、とくに7月の降水量が多いことが読み取れる。

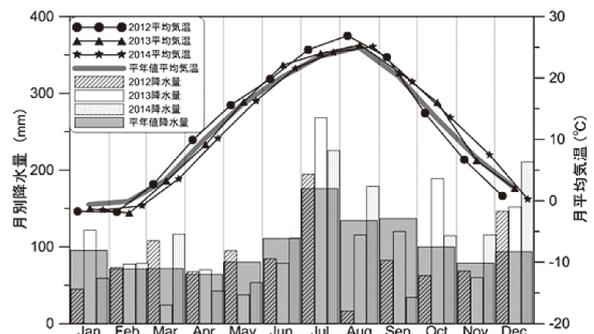


図2 平均気温・降水量の年変化

III. 研究方法

1. 道路状況の把握

会津盆地のどの地域で鉄が出ているのかを把握するため、道路が赤くなっている地図を作製した。まず、パソコン上で道路が赤くなっている大まかな位置を把握した。使用したものは、Googleがインターネットを通して提供している地図であるGoogle mapやGoogle Earth、日本全国の地質地盤や土地、水、環境に関する情報を集約したデータベースのG-Space IIである。

そして、実際に道路を見て、赤さの度合いを3段階に区分して図を作成した。区分の仕方として、

道路が全体的に少し赤くなっているものを 1 段階 (図 3 左上), 白線が赤色になっているものを 2 段階 (図 3 右上), 道路も白線も赤色になっているものを 3 段階 (図 3 左下) とした. また, 区分はしていないが, 駐車場や庭が赤色のもの (図 3 右下) も調べた.



図 3 道路状況区分

(左上: 1 段階, 右上: 2 段階,
左下: 3 段階, 右下: 駐車場・庭)

2. 水質採取・測定

会津盆地内の消雪用井戸・家庭用井戸・観測井・温泉などの水質を測定した (図 4). 集落ごとに 2～3 軒ほど家庭を訪問し, 地下水を使用している場合は採取させていただき, 分析を行った. 観測井や消雪用井戸についても, サンプラーで地下水を深度別に採取し, 分析を行った. 採取深度は水温変化を考慮した深度である. なお, 温泉については温泉掘削時の成分表を参考にした. 現地調査では, pH, EC, ORP, 水温の測定と, 全 Fe と NO_3^- の概略値を把握した. そして, 採取したサンプルを用いて, 重炭酸, イオンクロマト法, 原子吸光光度法の室内分析を行った. 重炭酸は pH4.8 アルカリ度滴定法を用いて行い, 滴定した硫酸の量から重炭酸を算出した. イオンクロマト法では重炭酸以外の地下水の主要イオン (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) を測定した. また,

地下水中の鉄の正確な濃度を測定するため, 原子吸光光度法を用いた. 測定した鉄は 2 価鉄イオンと 3 価鉄イオンの合計の濃度 (全鉄) である.

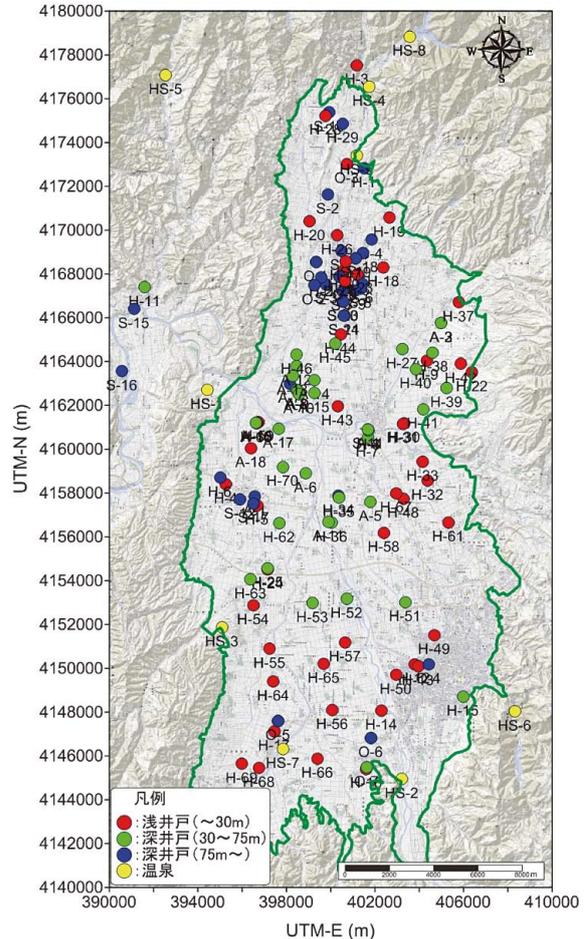


図 4 水質測定地点

IV. 結果・考察

1. 現地調査の結果 (pH, EC, ORP)

ここでは, 現地で測定した各項目の特徴について述べる. 結果は井戸深度別に区分し, 浅井戸 (深度 0～30 m), 深井戸 1 (深度 31～75 m), 深井戸 2 (76 m 以深) とした.

まず pH の分布について図 5 に示す. pH とは, 水中に含まれる水素イオン濃度指数であり, 酸性, 中性, 塩基性に分類される. 一般に地下水の pH は水に溶存している炭酸物質 (H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-}) に支配されている (水収支研究グループ, 1993). 本調査地域の地下水は, pH5～9 の値を示

し、中でも弱酸性～中性 (pH5～7.5) にかけての値が会津盆地全域に分布している。pH が弱酸性を示したところは H-28, 29, 66 であり、値はそれぞれ、pH5.8, 5.6, 6.0 であった。pH が弱塩基性のところは O-1, 6, A-2 であり、値はそれぞれ pH8.6, 8.0, 8.0 であった。また、帯水層ごとに pH が異なる地点がいくつか見られた。会津坂下町は深度 75 m までは弱酸性であったが、深度 76 m 以深は中性となった。また、会津美里町は深度 30 m まで弱酸性であったが、深度 31 m 以深は弱塩基性が分布していた。なお、喜多方市はすべての帯水層において、弱酸性が分布していた。

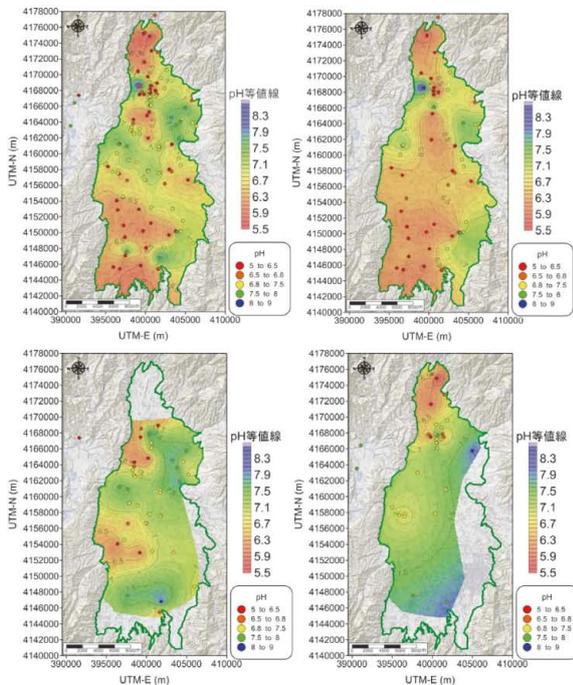


図 5 pH 分布図

(左上：全地点，右上：浅井戸，
左下：深井戸 1，右下：深井戸 2)

次に EC の分布について図 6 に示す。EC とは電気伝導度のことであり、電気の通りやすさを示す。数値が小さいほど、溶存している物質が少なく、電気を通しにくい。EC がとくに低かった地域は H-21, O-6 であり、値はそれぞれ 6.3 mS/m, 7.7 mS/m であった。高かった地域は S-16, H-4 であり、値はそれぞれ 55.9 mS/m, 45.0 mS/m であ

った。また、全域で深度が深くなるにつれ、20 mS/m 以下を示す地域が多くなった。

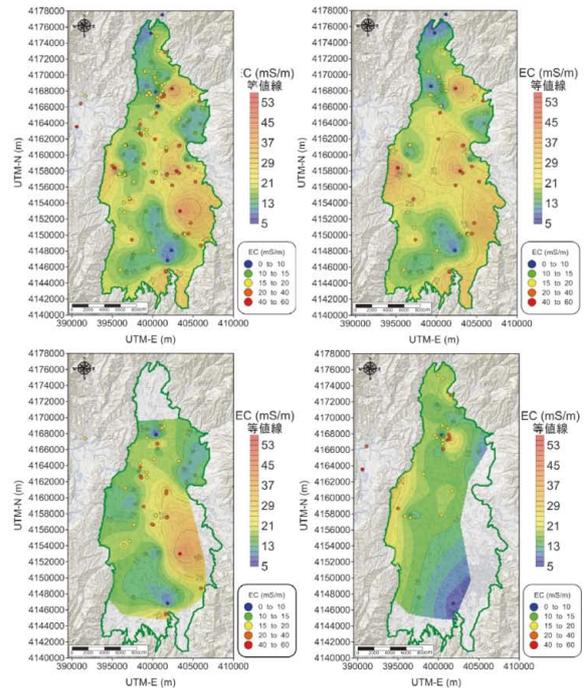


図 6 EC 分布図

(左上：全地点，右上：浅井戸，
左下：深井戸 1，右下：深井戸 2)

次に ORP の分布について図 7 に示す。ORP とは酸化還元電位であり、酸化力・還元力の指標を示す。酸化状態の場合は「+」で表示され、還元状態の場合は「-」で表示される。それぞれ値が大きいほどその状態が強いことを示す。本調査地域の地下水は、ORP が高い地域と低い地域がはっきり分かれている。その中でもとくに高かった地域は H-2, 28 であり、値はそれぞれ 578 mV, 302 mV であった。低かった地域は H-13, 35 であり、値はそれぞれ -173 mV, -144 mV であった。また、深度が深くなるにつれ、還元状態の地下水が広く分布する結果となった。地域別では喜多方市熱塩や会津美里町、会津若松市北会津は酸化状態であり、喜多方市塩川町市街地や会津坂下町、会津若松市は還元状態であった。なお、会津坂下町の深度 31～75 m において、酸化状態の地域が見られた。

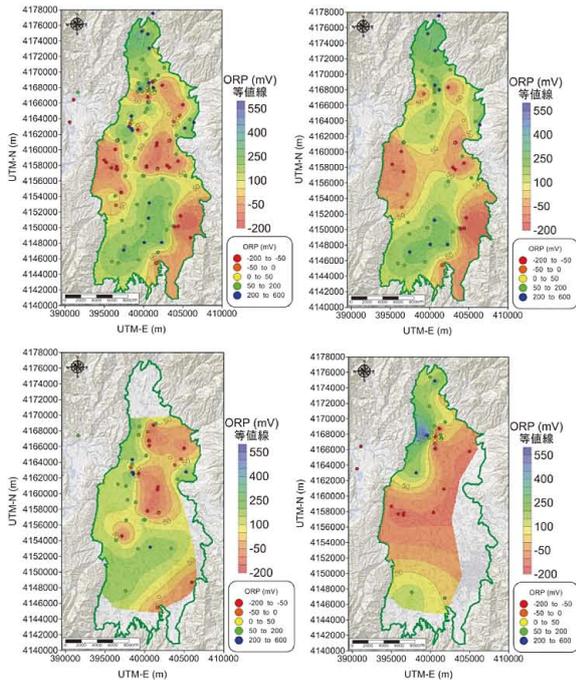


図7 ORP 分布図

(左上：全地点，右上：浅井戸，
左下：深井戸1，右下：深井戸2)

pH と ORP の相関を原子吸光で測定した鉄の濃度とともに図8に示す。pH と ORP には負の相関があると読み取れる。相関係数は-0.41 であった。また、ORP がマイナスのところは鉄の濃度が 10 mg/L を超えるものが多い結果となった。

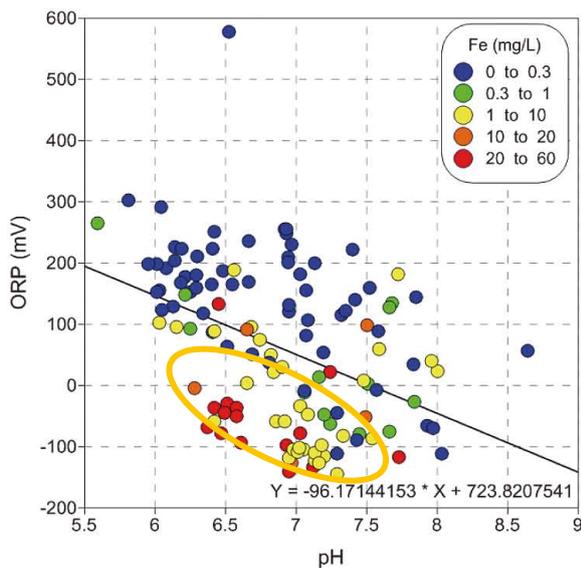


図8 鉄濃度で区分した pH-ORP 相関図

2. 室内分析の結果

ここでは、室内で分析した各項目の特徴について述べる。

まず、イオンクロマト法により分析した結果をトリリニアダイアグラムとして図9に示す。トリリニアダイアグラムは、溶存イオンの濃度そのものではなく、溶存比の特徴を表示する方法として用いられる。分析結果から、ほとんどが浅層地下水型とその中間型を示した。深井戸に限らず浅井戸でも深層地下水型を示すものがあつた。温泉は温泉・油田型を示した。温泉を除いた地下水について、陽イオンは陽イオン組成図のほぼ中央に分布しているが、陰イオンは中央から HCO_3^- が多く含まれている方へ分布している。陽イオンと比較すると、陰イオンの方が分布にばらつきがみられる。また、温泉のほとんどは $\text{Na}^+\text{+K}^+$, Cl^- が高い。

消雪用井戸は深度 100 m 以上であるが深層地下水型を示す地点はわずかである。これは大量の地下水を揚水するためにストレーナを多層に設置しているからである。そのため、浅層部と深層部の地下水が混合し、浅層地下水型を示していると考えられる。なお、会津盆地外の地点である S-15, 16 は深層地下水型、温泉型を示したことから、会津盆地と別の帯水層であると考えられる。H-51 は温泉型を示したが、これは東山温泉が混合しているためだと考えられる。また、 HCO_3^- を多く含む地下水は表層土壌や炭酸塩鉱物との反応だけでなく、有機物が分解されてできた HCO_3^- が地下水に溶存していると考えられる。

また、深度別に採取した結果、深度ごとに水質が変化した地点が見られた。浅層部は深層地下水型、深層部は浅層地下水型や中間型が見られた地点が数地点あつた (O-1, 2, 5, 7)。O-1, 2 については温泉の水が流れる押切川が付近を流れており、温泉の Na^+ の影響により深層地下水型に近いと考えられる。O-5, 7 についても付近に温泉と河川があることから、同様の原因ではないかと考えられる。

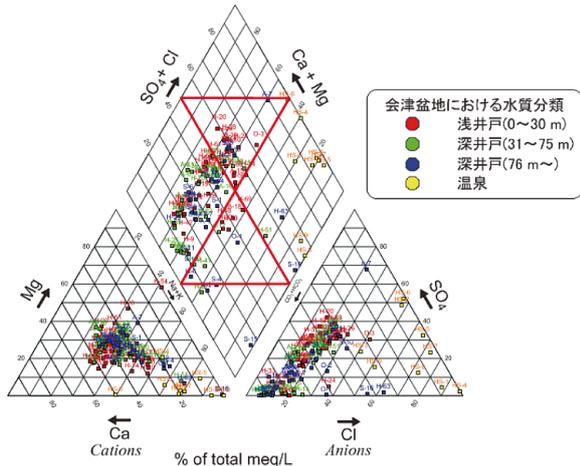


図9 トリリニアダイアグラム

次に、水質組成とその溶存量をあわせて表現するパターンダイアグラムを作成した。会津盆地を東西南北に分割したものを図10～13に示す。

図10に会津盆地北部のパターンダイアグラムを示す。熱塩加納の溶存イオン濃度は少ないが、喜多方市街地に南下するに従い、溶存イオン濃度が多くなっている。大別して、(Na+K)-HCO₃型とCa-HCO₃型に分類される。(Na+K)-HCO₃型は熱塩加納や市街地に分布し、Ca-HCO₃型は喜多方市岩月や市街地に分布している。また、Mg-SO₄型とNa-Cl型がみられ、それぞれ熱塩加納に分布する。市街地では浅層部は溶存イオン濃度の少ないCa-HCO₃型、深層部は溶存イオン濃度の多いCa-HCO₃型や(Na+K)-HCO₃型を示した。

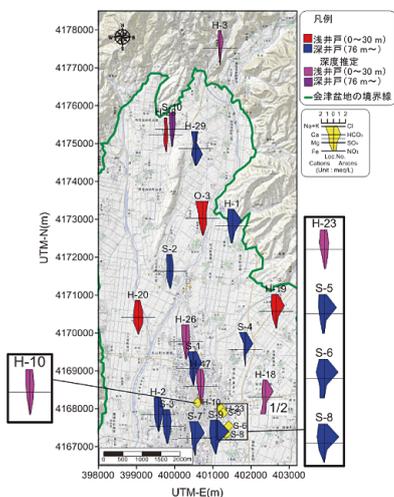


図10 盆地北部のパターンダイアグラム

図11に会津盆地東部のパターンダイアグラムを示す。東部は全体的にHCO₃が多い傾向にある。大別して、(Na+K)-HCO₃型とCa-HCO₃型に分類される。(Na+K)-HCO₃型を示す地点が多く、喜多方市熊倉や塩川町東部、湯川村に分布している。Ca-HCO₃型は喜多方市塩川町東部や湯川村の一部に分布している。上記以外のパターンはMg-HCO₃型は会津若松市広田にみられる。

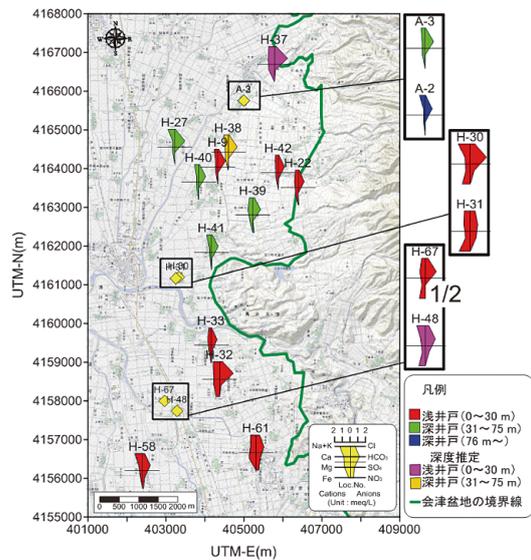


図11 盆地東部のパターンダイアグラム

図12に会津盆地西部のパターンダイアグラムを示す。西部はNa⁺の濃度が高い地域が多い。塩川の自噴井はどれも同じ水質パターンを示したが、会津坂下町青津の自噴井は塩川の自噴井と異なる水質を示した。大別して、(Na+K)-HCO₃型、Ca-HCO₃型、(Na+Mg)-HCO₃型を示した。(Na+K)-HCO₃型は会津坂下町や湯川村北部、盆地外の山都、高郷でみられ、Ca-HCO₃型は湯川村や会津坂下町北西部でみられた。(Na+Mg)-HCO₃型は喜多方市塩川町の自噴井でみられた。上記以外のパターンとしてはNa-NO₃型とNa-SO₄型であり、それぞれ塩川町天沼と豊川町沢部にみられる。湯川村や会津坂下町青津の地下水は深度に関係なく(Na+Mg)-HCO₃型が分布していた。

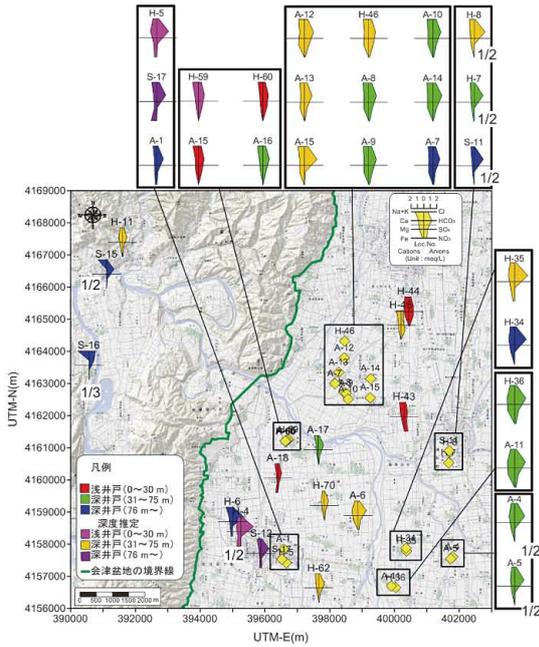


図 12 盆地西部のパターンダイアグラム

図 13 に会津盆地南部のパターンダイアグラムを示す。会津美里町高田や本郷、会津若松市北会津は比較的溶存イオン濃度が低いが、会津若松市街地や会津美里町新鶴は溶存イオン濃度が高い。大別して、 Ca-HCO_3 型と $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$ 型に分類される。 Ca-HCO_3 型は高田や本郷、新鶴、北会津と幅広く分布しており、 $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$ 型は高田の上戸原、会津若松市街地北西部と南東部に分布している。上記以外のパターンとしては、 $(\text{Na}+\text{K})\text{-NO}_3$ 型と Mg-HCO_3 型がある。 $(\text{Na}+\text{K})\text{-NO}_3$ 型は会津若松市街地西部、 Mg-HCO_3 型は新鶴にみられる。

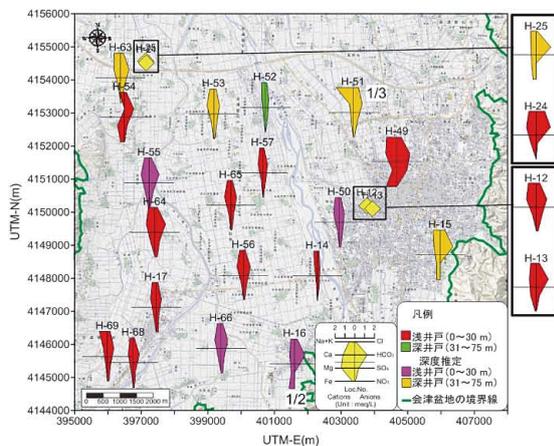


図 13 盆地南部のパターンダイアグラム

次に、深度別に採取したパターンダイアグラムを示す。図 14 に観測井の深度別パターンダイアグラムを示す。図に記載している深度は採水深度であるが、御清水浅層は井戸深度である。

御清水は、浅層と深層で井戸の場所が 20 m ほど離れているが、浅層は Ca-HCO_3 型、深層は $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$ 型を示した。第 5 水源の 60 m と第 6 水源の 40 m について、どちらも $(\text{Na}+\text{Mg})\text{-HCO}_3$ 型となり、南側の第 6 水源の方の溶存イオンが多い。本郷は深度 25 m では $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$ 型であったのに対し、深度 40 m では Ca-HCO_3 型を示した。御田と受水塔は $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$ 型、本町は $\text{Na}(\text{SO}_4+\text{HCO}_3)$ 型を示した。また、鉄が検出された井戸は、深度が深くなるにつれ鉄の濃度が高くなった(第 6 水源、本郷)。

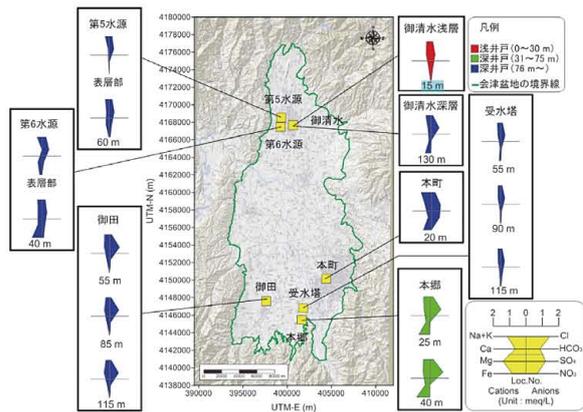


図 14 観測井のパターンダイアグラム

図 15 に喜多方市の消雪用井戸の深度別パターンダイアグラムを示す。消雪用井戸について、豊川 1 号は深度 50 m では Na-Cl 型であったが、深度 100 m では Na-SO_4 型であった。リオンドールの深度 50 m は Na-Cl 型であるが、深度 100 m, 150 m では $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$ 型であった。また、溶存イオン濃度が徐々に低くなっている。豊川 5 号についても、すべての深度で $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$ 型を示しており、稲村 1 号でも同様である。稲村 3 号は $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$ 型であるが、豊川 5 号に比べ、 Ca^{2+} と Mg^{2+} の濃度が高いことがわかる。また、鉄が

みられた井戸は豊川1号, 5号のようにどの深度も濃度が同じものもあれば, リオンドールのように深度 100 m のみ高濃度の鉄を示す井戸もみられた。

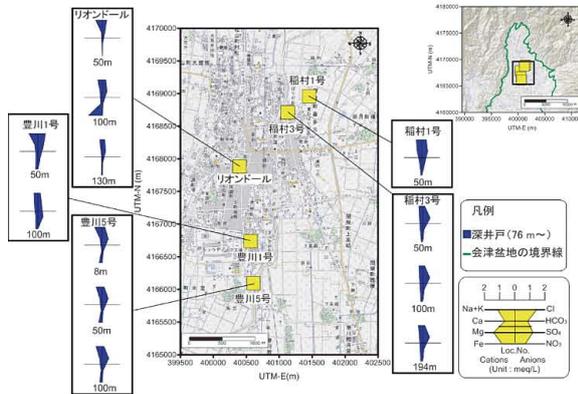


図 15 消雪用井戸のパターンダイアグラム

次に, 原子吸光光度法で測定した鉄の濃度分布および道路を3段階に区分した図を図16に示す. 左図から, 鉄の飲料水基準値 (0.3 mg/L) を大幅に超える地域がいくつかあることがわかる. また, 道路が赤色である地域は盆地北部に多く, 駐車場や庭が赤色である地域は盆地南部に多いことが分かる. 図16から, 地下水中の鉄と道路の赤色が対応していることが分かる. 鉄の濃度分布とB-B'断面線の地質断面図(図17)を比較してみると, 鉄の濃度が高い地域は粘土層が厚く, または薄い粘土層が多層に分布していた.

道路状況について, 道路の色が少し赤色(1段階)である盆地北部および盆地南部と, 道路や駐車場の赤色が濃い(3段階)盆地中央部に分けられる. 地下水中で鉄が高い地域は粘土層が分布しているが, 粘土層がある地域は必ずしも鉄が高いとは限らない. 以上のことから, 第四紀堆積層の粘土層において, 鉄が高い地域と低い地域があると考えられる.

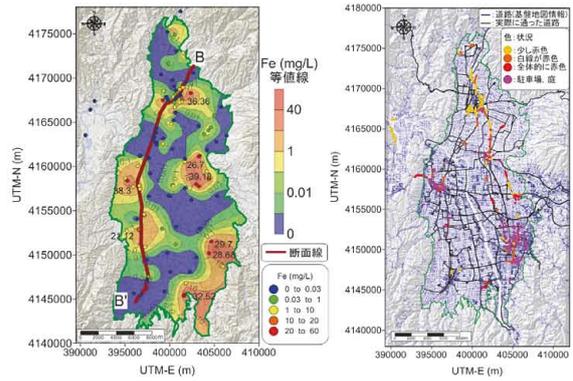


図 16 鉄の濃度分布 (左), 道路状況 (右)

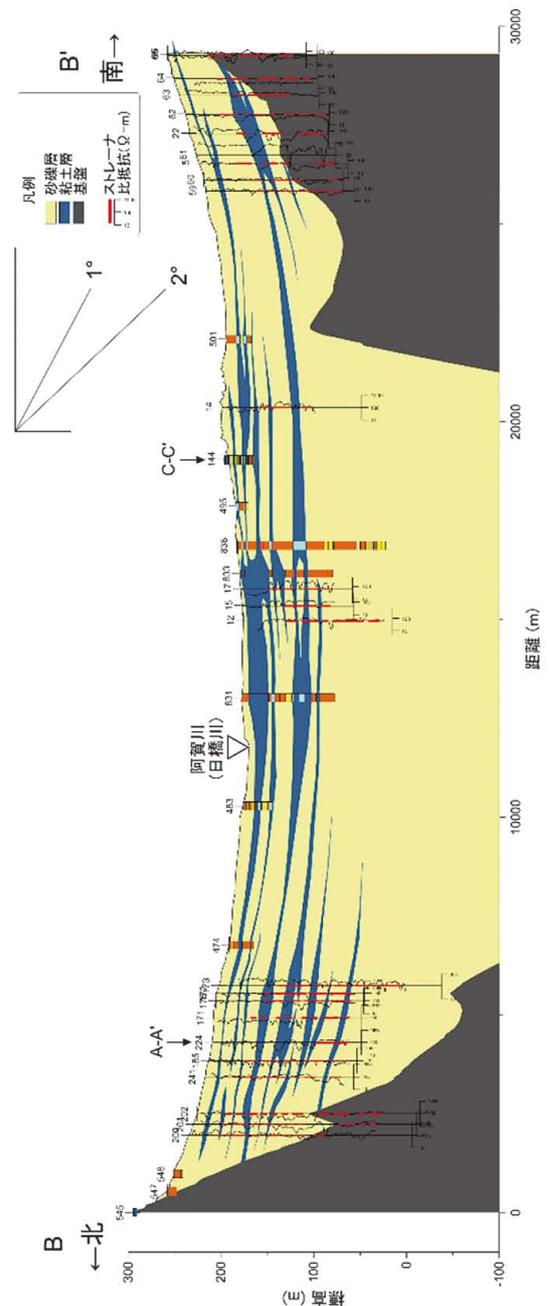


図 17 B-B'断面の地質断面図

3. 鉄の分布の解析

鉄は地殻中に酸素、ケイ素、アルミニウムに次いで4番目に多い元素である。その鉄は植物や鉱床、火成岩中に存在する。自然に鉄が含まれている状態から粘土層・腐植土層に入る過程は次のように考えられる。

植物起源の鉄は、地層が形成された時代の水辺に生息していた植物に由来する。その植物が朽ちると主な成分である有機物は二酸化炭素に分解されるが、分解されない金属元素である鉄やマンガンはそのまま地中に埋もれて濃縮される。そして粘土層中では酸化されにくいいため、鉄イオン・マンガンイオンの状態で存在する(日本地下水学会, 2014)。

鉄が含まれる鉱床は、堆積鉱床、火成鉱床、残留鉱床の3種類がある。主要鉱石鉱物は磁鉄鉱・赤鉄鉱・ゲーサイト(褐鉄鉱)・シヤモサイト・シデライトなどである。堆積鉱床は鉄に富む堆積岩で、縞状鉄鉱層とアイアンストーンに大別される。縞状鉄鉱層は世界各大陸の先カンブリア時代の地層中に大規模に発達した。アイアンストーンは主に顕生代の地層にみられる。日本でかつて広く稼行された褐鉄鉱鉱床は火山地域の温泉などによる化学的沈殿物である。

火山起源の鉄は、火成岩中に磁鉄鉱・赤鉄鉱などとして存在している。これらの岩石が火山活動により火山噴出物として堆積し、物理的・化学的風化作用を受けて粘土層中に鉄が存在すると考えられる。物理的風化作用とは温度変化により鉱物がバラバラになるものであり、化学的風化作用とは水に溶けたり酸化されたりすることにより岩石が粘土鉱物になることである。実際、会津若松市南東部は石英質安山岩質の火砕流堆積物が分布している。

以上の起源が挙げられるが、本研究では、地下水中の鉄の濃度と粘土層、そして地下水の水質との関係を図18に示す。鉄の濃度が高い地域の地下水は、ORPが低く還元状態であることが分か

る。粘土層中の鉄が地下水に溶出しやすい環境であるため、地下水中の鉄の濃度が高いと考えられる。なお、粘土層中の鉄は、会津盆地の集水域に分布する火成岩に由来し、また、会津盆地が湖盆であったときに堆積した有機物に富む粘土層に多く含まれると考えられる。

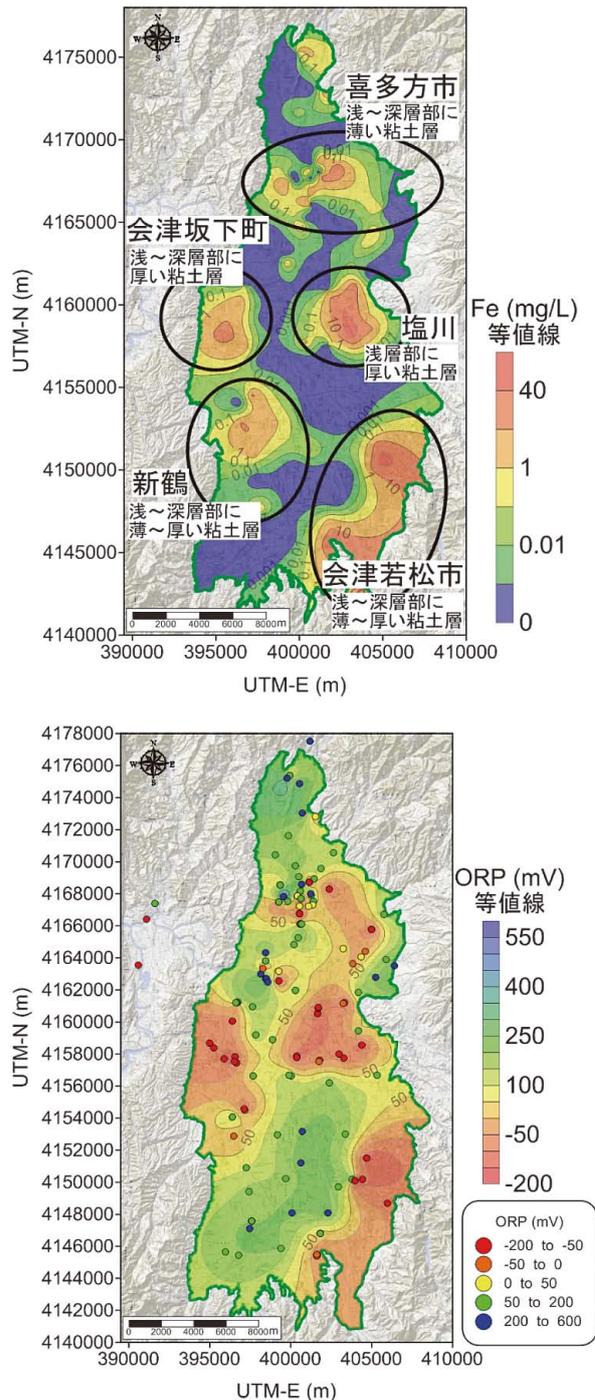


図18 鉄と粘土層の関係(上)
全地点のORPの分布(下)

また、深井戸で鉄の濃度が 10 mg/L 以上の深度別サンプルの鉄濃度をみると、深層部に高濃度の鉄が含まれていることが分かった。消雪用井戸などで揚水されることにより、加圧層である粘土層中の鉄が地下水中に溶出し、それが帯水層中に供給されると考えられる。加圧層（粘土層）と帯水層の水頭の関係により、下向きまたは上向きの漏水が生じ、溶出した鉄が帯水層中に移動する。このメカニズムを図 19 に示す。

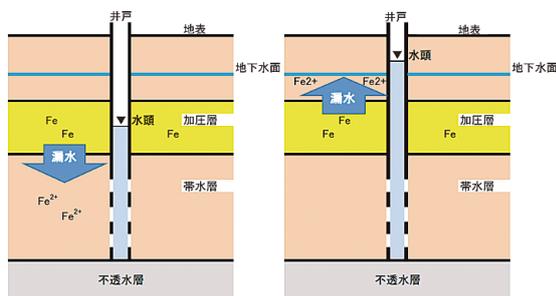


図 19 加圧層から鉄が溶出するメカニズム

(左：被圧地下水頭が地下水面より低いとき
右：被圧地下水頭が地下水面より高いとき)

V. まとめ

会津盆地の地下水の水質および鉄の分布について、以下のことが明らかとなった。

- 1) 会津盆地の水質は、大別すると(Na+K)-HCO₃型、Ca-HCO₃型に分類される。
- 2) 深層地下水型を示す井戸が少ないのは、浅層部から深層部までストレーナが入っていることにより、井戸内で混合するからである。
- 3) 深度別の水質が逆転している井戸は、浅層部は付近の河川・温泉の影響によるものである。深度別に水質分析した井戸では、浅層部が浅層地下水型、深層部が深層地下水型という明瞭な水質変化は見られなかった。
- 4) 会津盆地の地下水中で鉄の濃度が高い地域は、地下水が還元状態であり、鉄が粘土層から溶出した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、水質分析については、福島大学環境放射能研究所特任准教授の高瀬つぎ子様、福島大学共生システム理工学類特任助教の藪崎志穂様、福島大学大学院共生システム理工学研究科博士前期課程 2 年の松尾晴児さんにご指導いただいた。資料収集については、会津若松建設事務所の栗田庸様、湯川村役場の青木和久様、喜多方市役所熱塩加納総合支所の大塚久博様、NEXCO 東日本会津若松管理営業所の佐藤様、庄建技術株式会社の永井邦彦様・高橋正則様、会津宮川土地改良区の前田伸一様に協力していただいた。

本研究を支えてくださった皆様に厚く感謝を申し上げます。

引用文献

- 気象庁 HP (2014) : 気象観測データ。
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/obsmenu.html>.
- 水収支研究グループ (1993) 地下水資源・環境論—その理論と実践—. 共立出版株式会社, 72, 100-108, 145-161.
- 日本地下水学会 HP (2014) : よくある質問。
http://homepage3.nifty.com/jagh_torikichi/faq/faq_index.htm.
- 東北農政局計画部 (1965) 農業用地下水調査報告書 会津盆地地区. 294p.
- 山元孝広・吉岡敏和・牧野雅彦・住田達也 (2006) 喜多方地域の地質. 地質調査総合センター, 63p.