黄金井の水環境
～「ハケ」と共に生きる水～

東京都立多摩科学技術高等学校　科学研究部

1. 序論

私たちの学校がある東京都小金井市は東京都の中央付近、国分寺崖線上に位置し古くから水の豊かな地域である。(図-1参照) 小金井は「黄金井」と呼ばれることもあり、これは黄金に値する豊かな水が湧くことに由来すると言われる。本校近くにも、多摩川水系の一級河川である野川や東京都名湧水に選ばれている湧水があり、この湧水を生み出す国分寺崖線は「ハケ」と呼ばれ古くから地域の方々に親しまれている。

しかしながら近年、工業化や道路のコンクリート化などが大きく進み、我々の身近なところでも「自然破壊」という言葉を耳にする機会が増えた。私たちは地域住民にも大切にされる小金井市の水環境も自然破壊の影響を受けているのではないかと思い、開校時(2010年9月) から多摩川水系の「野川」と、その流入源の一つである「貫井神社の湧水」の水質調査を開始した。現在も、平均月2回の水質調査を継続している。

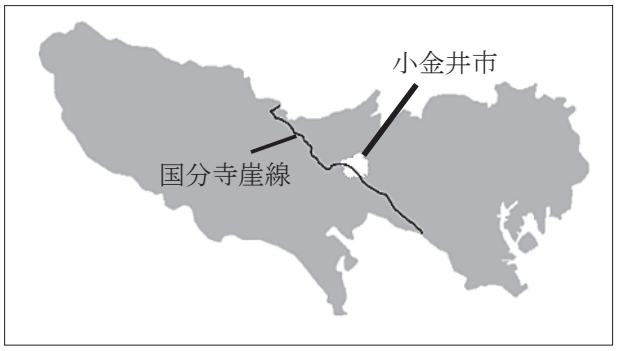


図-1　小金井市と国分寺崖線

2. 湧水のメカニズムと調査地域

(1) 湧水のメカニズムと「ハケ」について

国分寺崖線は上総層群や古多摩川が運搬した砂礫層を基盤としており、古富士山等の噴火による火山灰層(関東ローム層) が厚く堆積している。湧水は武蔵野段丘面に降った雨などが地中にしみこみ、武蔵野砂礫層から浅層地下水として外部に湧出することで作られている。(図-2参照) この湧水が、小金井市の東西を横切るようにして地下を流れ崖線から湧出し(崖線タイプ)、野川に流入している。(表-1参照) 小金井市は3つの湧水が東京都名湧水57選に選ばれ、調査場所である貫井神社はこの1つである。

「ハケ」とは、国分寺崖線の段丘崖下部の窪みから湧水が湧出される地形のことであり、地域住民はこの湧水群を「ハケ」と呼び大切にしている。なお、本研究で使用する検体のひとつである「ハケ土壌」は、貫井神社の湧水採集場所近くの土壌をいう。

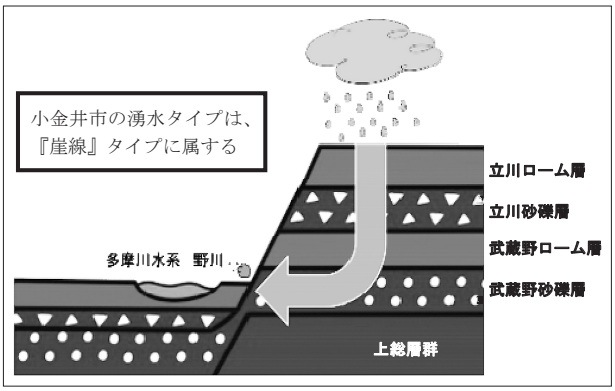


図-2　湧水のメカニズム

表-1　湧水タイプ

湧水タイプ	概　要
崖 線	台地などの崖前面から湧出する
谷 頭	山地、丘陵地などの谷地形から湧出する
扇 端	扇状地 扇状地扇端で地形面と地下水面が交差又は被圧地下水が自噴する

(2) 調査地域

学校から600mほど離れた徒歩15分の場所に位置する。貫井神社にある湧水と、その近くを流れる野川で水質・土壌の調査を行っている。(図-3参照)

図-3　調査場所（出典：Google）

◎多摩川水系の野川について

調査場所である貫井神社から南に150mほど離れ湧水群が流入する河川で、多摩川の支流（一級河川）である。(写真-1,2参照)

写真-1　野川

写真-2　野川での水質調査

◎貫井神社について

安土･桃山期にあたる1590（天正18）年に創建され、水神の貫井弁財天を祀っている。1923（大正12）年には、湧水で満たした長さ50mのプールが造られた。現在プールは閉鎖されたが、今も市民の憩いの場となっている。

写真-3　貫井神社

写真-4　水質調査

写真-5　貫井神社の湧水

(3) 小金井市の環境対策

小金井市などの調査により、近年湧水の流出量が、コンクリート舗装などの影響により減少傾向にあることが分かった。そのため、小金井市は健全な水循環を取り戻すために「小金井市の地下水及び湧水を保全する条例」を制定し、湧水の枯渇への対策として雨水浸透施設設置事業を推進している。雨水を地面に戻すことを促進する雨水浸透枡を設立するなど、水環境を回復して湧水を確保するための取り組みが行われている。(図-4参照)

図-4　浸透枡の仕組み（出典：小金井市）

3. 野川と貫井神社の湧水の水質調査

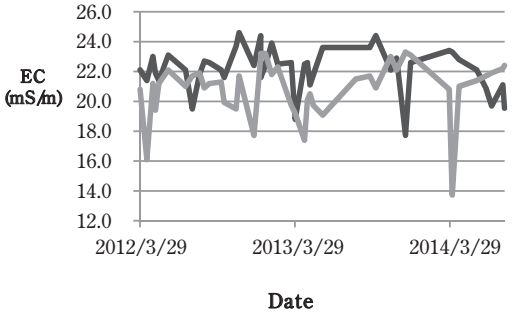
本校付近を流れる野川とその流入源である湧水を調査し、水質の違いや変化を比較した。(2010年9月～現在) 調査項目は以下のとおりである。(表-2参照)

グラフ-1,3,4の結果から、野川は流入源である湧水と同様に測定値が変動していることが分かる。このことから野川は湧水の影響が大きく、季節や天候 (雨水) などの外的要因にさらされるため、年間を通し水温や

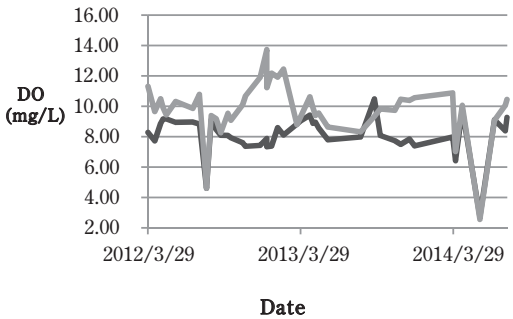
表-2　調査項目

調査項目	概要
電気導電率(EC)	電気の流れやすさの度合い(mS/m)
溶存酸素量(DO)	水中に溶けている酸素量(mg/L)
酸化還元電位(ORP)	物質の酸化力または還元力の強さを表す尺度(mV)
浸とう水素イオン濃度(RpH)	溶存二酸化炭素の影響を無くしたpHの値
水温	水の温度(℃)
水素イオン指数(pH)	酸・アルカリの度合いを示す指数

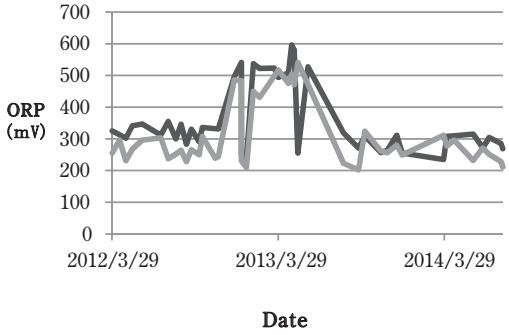
＜調査結果＞



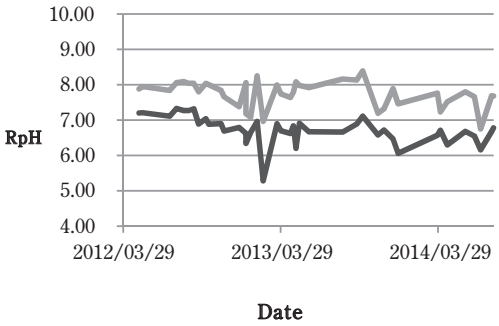
グラフ-1　河川と湧水の電気伝導率



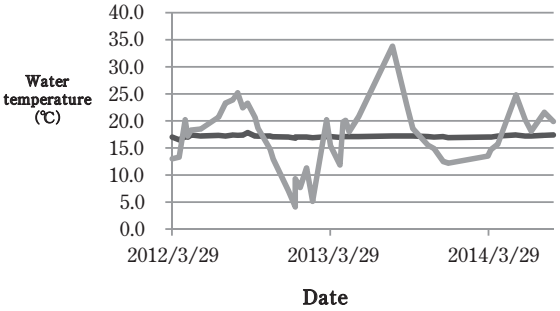
グラフ-2　河川と湧水の溶存酸素量



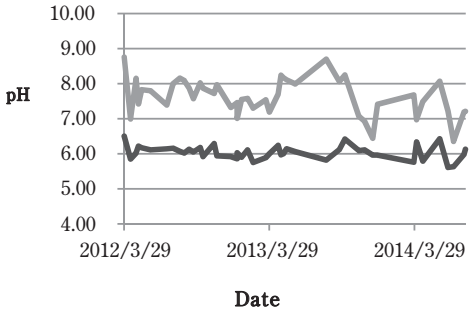
グラフ-3　河川と湧水の振とう水素イオン



グラフ-4　河川と湧水の浸とう水素イオン濃度



グラフ-5　河川と湧水の水温



グラフ-6　河川と湧水の水素イオン指数

— 野川
— 湧水

pHの変化も大きい。(グラフ-5,6参照) それに対し、湧水は土壌を通して湧出しているため雨水などの外的要因の影響をほとんど受けていないことが分かった。

雨水は湧水に対しても流入源と考えられることから、地域に降る雨水について調査を開始した。

4. 野川と湧水に流入する雨水の調査

2010年9月より小金井市に降る雨水のpHの調査を開始した。(2010年9月～現在) また、雨水の成分はIC装置購入後 (2012年3月～現在) 分析を開始し、同様に野川と湧水の調査を行った。調査項目は以下のとおりである。

1. 雨水のpH調査
2. IC装置による雨水の成分分析

写真-6　雨水採取風景

(1) 雨水のpH調査と成分分析

雨水採取器 (HORIBA社製：レインゴーランド) を本校2階中庭に設置し、雨水の初留分をpH計 (HORIBA社製：LAQUA) により測定した。(表-3参照) その後、雨水をIC装置 (島津製作所製：LC20-ICシステム) により測定した。(表-4参照)

表-3　雨水pH測定

年	2010	2011	2012	2013	2014	計
検体数	12	47	55	45	13	172
年別平均	5.73	4.91	5.33	4.78	4.65	5.08
MAX	6.9	6.76	8.16	7.52	6.02	8.16
MIN	4.8	3.61	3.34	3.34	3.81	3.34
備考	9/16~		校舎解体	校舎解体		

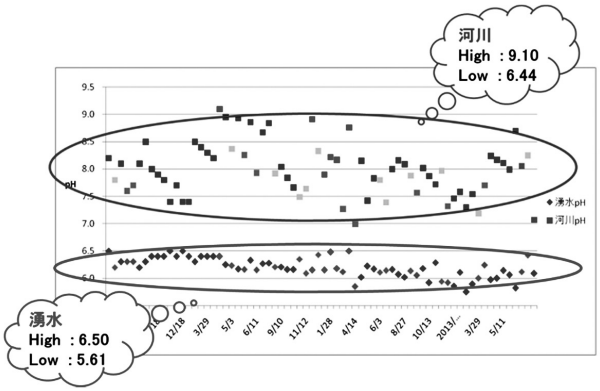
表-3から2010年以降の雨水 (初留分) は平均pHが5.08となった。これは東京都の酸性雨の基準値であるpH5.6を下まわるため、この地域には酸性雨が降っているといえる。また、その成分をIC装置により測定した結果、この地域の酸性雨は硝酸イオン (NO_3^-)・硫酸イオン (SO_4^{2-}) が多く含有していることが分かった。(表-4参照) また湧水のCl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}の数値が高くなる原因として先に述べた崖線の地質 (関東ローム層などの堆積物) の影響と考えられる。

表-4　IC装置による比較測定

	Cl^-(mg/L)	NO_3^-(mg/L)	SO_4^{2-}(mg/L)
河川	10.59	22.47	17.74
湧水	14.82	30.49	18.37
雨水	1.66	2.76	2.98

(2) 結果と考察

野川と湧水のpHと雨水の関係について考察すると、降雨日のpHが下がる傾向が見受けられた。(グラフ-7の青点) また、降雨翌日に測定を行うとpHが塩基性に傾くことも分かった。この原因の一つとして、酸性雨によって野川にかかるコンクリートの橋や護岸整備から塩基成分が溶出していると考えられる。このことから、野川は外的要因とくに気象 (雨水) に左右されていることが言える。それに対し湧水は、pHの大きな変化がみられず年間を通して比較的安定傾向にあることが分かった。これは先に述べたように湧水が崖線を通って湧出されるため外的影響が受けにくいからである。そこで、pHの急激な変化を抑える働きをしている土壌の緩衝作用について実験を行った。



グラフ-7　河川と湧水のpH比較図

5. ハケ土壌の緩衝実験

緩衝実験とは土壌の持っている緩衝作用の強さを中和滴定により分析する実験である。実験は以下の方法で行った。ハケ土壌の緩衝作用は市販土壌に比べ強いことが分かった。(グラフ-8参照) このことから、ハケ土壌には緩衝作用を強める成分が多く含まれ、湧水のpH安定を図っていると考えられる。そこで、ハケ土壌

ビーカーに1mol/L 塩酸水溶液とハケ土壌5gを加え、1mol/L水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定を行う。対照として市販土壌（バイオマット・クヌギマット・腐葉土）を用いて同様に実験を行い、その結果を比較した。

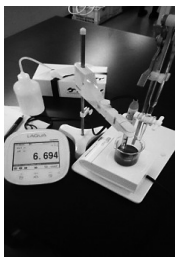
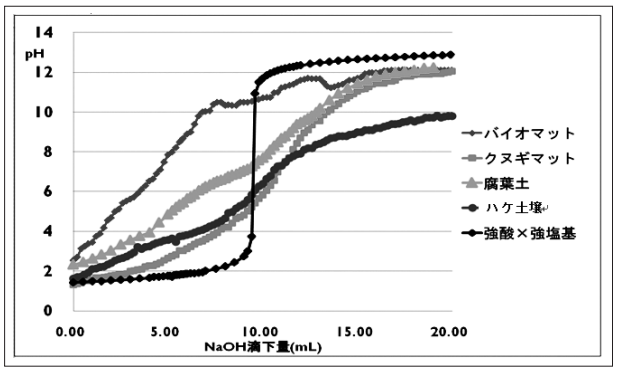


写真-7　緩衝実験



グラフ-8　緩衝実験結果

の緩衝作用が強い要因について明らかにするため、土壌の性質を化学的に分析した。

7. ハケ土壌の分析

ハケ土壌に含まれる無機物量・有機物量の割合を灰分実験により測定した。また、緩衝実験と同様に市販土壌を用いて比較を行った。

(1) 灰分実験

灰分実験とは土壌試料を強熱し有機物を燃焼させ、その重量差で無機物量・有機物量を測定する方法である。

分析結果から、ハケ土壌に含まれる無機物量・有機物量の比は約1:1となり、市販の土壌と比べ有機物量の多い土壌であると言える。(表-5参照) この結果を踏まえ、無機物・有機物についてより詳しく分析を行った。

表-5　灰分実験結果

サンプル（約2g）	残渣量(%)（無機物）	減少量(%)（有機物）
バイオマット	66.85	33.15
クヌギマット	97.09	2.91
腐葉土	56.5	43.5
ハケ土壌	49.95	50.05

＊減少量…有機物、残渣量…無機物

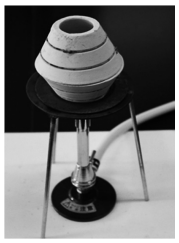


写真-8　灰分実験

(2) 土壌有機物の分析

◎土壌有機物（腐植物質）について

土壌有機物は、図-5のように分類できる。私たちは今回、土壌の腐植物質に注目し、腐植化度を測定した。

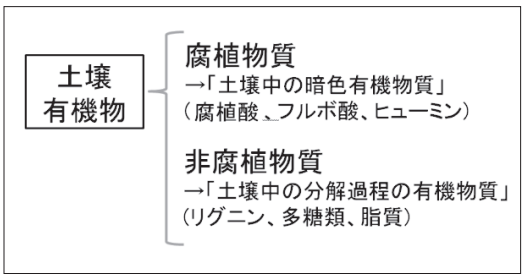


図-5　土壌有機物の分類

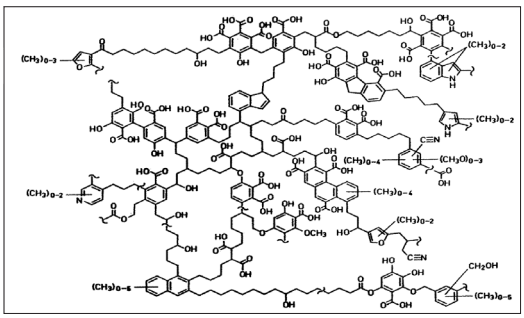


図-6　Schulten（1993年）らによるフミン酸の代表的な化学構造モデル

腐植化度の測定

◎腐植化度とは

腐植の進み具合をRp型,P型,B型,A型の4つに分類し表したもので、A型へ移行するほど黒色化が進み、腐植化度が高い。(図-7参照) また、腐植化度の高さは官能基の量にも比例するため、急激な環境変化などの負担吸収につながる。腐植化度の測定方法は図-8に示す。

Rp型：0.93＜PI≦0.98 かつ MI≧2.00
P型：PI＞0.98
B型：PI≦0.98 かつ 1.70＜MI＜2.00
A型：PI≦0.98 かつ MI≦1.70

図-7　腐植化度の分類

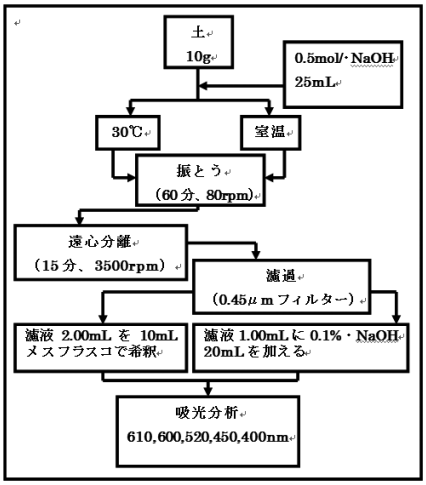


図-8 腐植化度測定方法

ハケ土壌は市販の土壌より腐植化度が高く腐植物質が多く含まれていることが分かった。(表-6参照)

腐植物質にはヒドロキシ基やカルボキシ基などの官能基が多く含まれているため、帯電やキレート結合により陽イオンを保持することができ、緩衝作用が強まると考えられる。

表-6　腐植化度測定結果

	MI値	PI値	土壌の型
バイオマット	2.3051	0.9	Rp
クヌギマット	2.2776	0.9018	Rp
腐葉土	2.2177	0.901	Rp
ハケ土壌	1.5864	0.9462	A

(3) 土壌無機物の調査

緩衝作用をおこす金属元素について以下の実験を行った。土壌に含まれている金属元素を特定するため、EDX装置を用いて分析した。次に、酸による溶出液に含まれる金属元素をICP装置により分析した。

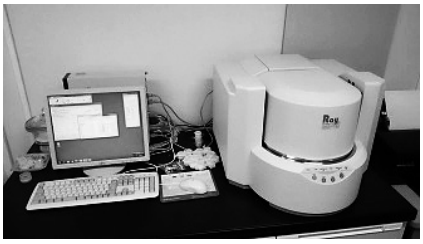


写真-10　EDX 装置

① EDX装置による分析

ハケ土壌と市販土壌に含まれている金属元素をEDX装置により測定した。

実験結果から、ハケ土壌にはアルミニウム (Al) や鉄 (Fe) が多く含まれていることが分かった。(表-7参照)

表-7　土壌金属含有量測定結果（相対質量％）

元素名	バイオマット	クヌギマット	腐葉土	ハケ土壌
Fe	5.52	2.85	6.24	46.93
Al	—	—	—	20.83
Ca	54.92	78.17	44.74	1.6
K	12.35	7.07	24.69	0.78
Si	6.45	2.68	3.05	24.61
Ti	—	—	—	3.03
Mn	0.97	5.34	7.81	0.83
Cu	—	—	0.48	0.16
P	16.82	—	5.22	—
S	2.53	3.11	7.75	0.98

＊—部は検出されず

この要因の一つとして、この土壌を形成する地層に、火山灰層である関東ローム層 (Fe_2O_3やAl_2O_3を含む地層) があるためだと考えられる。

② ICP装置による酸溶出液実験

この地域で酸性雨が降っていることから、酸によって溶出する金属元素量をICP装置により測定した。

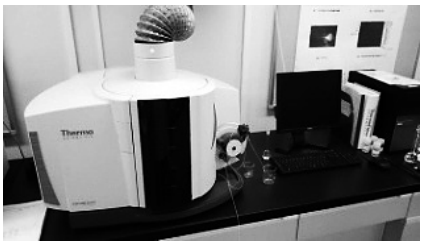


写真-11　ICP 装置

表-8　金属溶出量測定結果（mg/L）

元素名	バイオマット	クヌギマット	腐葉土	ハケ土壌
Fe	0.077	0.212	0.867	—
Al	10.063	0.099	0.136	—
Ca	0.278	0.938	0.9	0.123
K	0.653	0.751	2.135	0.545
Si	0.682	0.943	0.102	0.11
Na	0.416	0.937	1.559	0.426
Mn	0.025	0.739	0.129	—
Mg	0.179	0.387	0.587	0.543
P	0.924	0.219	3.119	—
S	0.576	0.103	0.17	0.133

＊—部は検出されず

実験結果から、ハケ土壌はアルミニウム (Al) や鉄 (Fe) を検出しなかった。(表-8参照)

これらの実験結果から、土壌中のアルミニウムや鉄などの金属が変異電荷、永久電荷を形成することで、酸により溶出しなかったと考えられる。(図-9,10参照)

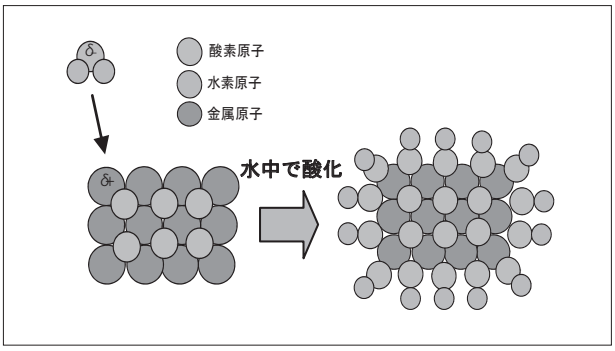


図-9　変異電荷

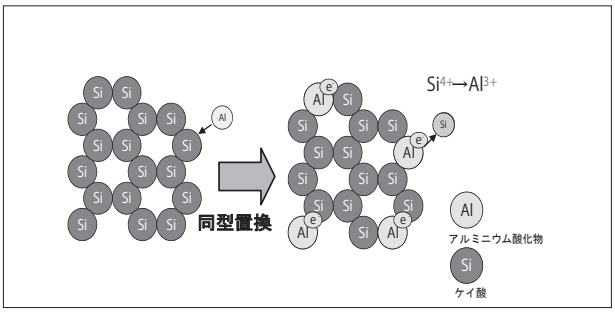


図-10　永久電荷

(4) 土壌のCEC測定

今までの実験を通し、ハケ土壌は有機物（腐植物質）を多く含み、アルミニウムイオンや鉄イオンなどの多くの陽イオンを保持していると考えられる。そこで、ハケ土壌中の陽イオンの保持力を測定した。

◎CECとは

土壌が保持、吸着できる陽イオン量のことを言う。実験方法は、図-11に示す。

結果、ハケ土壌はCECが高いことが分かった。（表-9参照）このことから、イオンを保持する量が多く、土壌中の養分を吸着できるため、肥沃度が高いといえる。

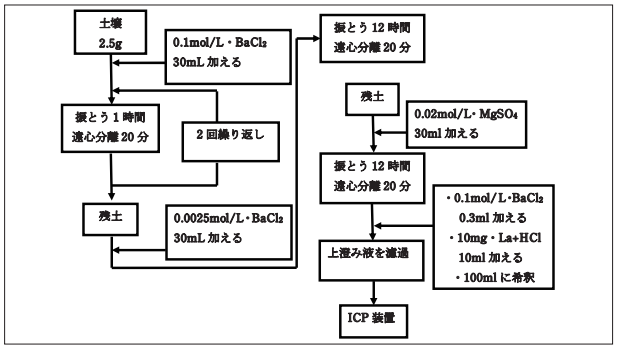


図-11 CEC フローチャート

表-9　CEC 測定結果

CEC(cmol(+)/kg)	
バイオマット	6.416
クヌギマット	16.62
腐葉土	3.453
ハケ土壌	20.94

(5) 酸性雨が土壌の緩衝作用へ与える影響

無機物・有機物の相互作用により、ハケ土壌は緩衝作用が強いことが分かった。しかし、この地域には酸性雨が降っているため、将来的に酸性化された土壌となり、湧水などの安定が図れなくなる可能性が考えられる。そこで、酸性化された土壌に残る緩衝作用の強さを確認するため、土壌を酸性化させ擬似実験を行った。実験方法は、図-12に示す。

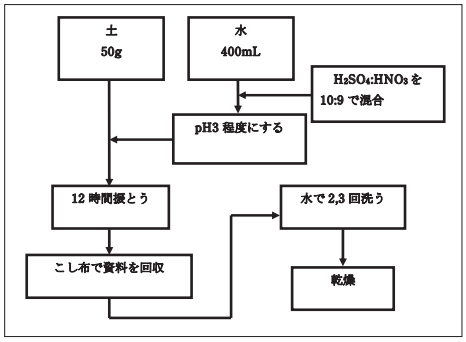
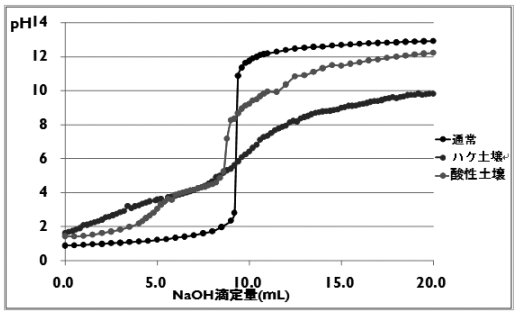


図-12　酸性化土壌の作成方法

実験結果から酸性化させたハケ土壌（グラフ-10：赤色の曲線）は緩衝作用が弱まっていることが分かる。通常のハケ土壌（グラフ-10：紫色の曲線）と比べるとpHジャンプが見られたことから、この先酸性雨が降り続くことで緩衝作用が弱まる可能性が考えられる。



グラフ-10　酸性化土壌による緩衝実験結果

8. まとめ

(1)　今までの調査から、この地域には酸性雨が降っていることが分かった。しかし、調査を開始してから今まで湧水のpHはほとんど安定した値を保っている。一方、野川では、pHの値が大きくばらつくなど酸性雨を中心とした外的要因に影響していることが分かった。

(2)　ハケ土壌は、腐植化度が高いことや金属の電荷形成など、有機物・無機物の相互作用により緩衝作用が強い。そのため、酸性雨などの外的影響を受けづらいと考えられる。

(3)　水質調査（EC、ORP、RpH）の結果（グラフ-1,3,4参照）から、野川は流入源である湧水の影響を大きく受けていることが分かった。

(4)　調査を行っている中で、少しずつ湧水にもpH、水温などが季節・天候により左右される傾向が見え始めている。

9. 結論

私たちは当初、地域の水質調査・研究を目的にしていたが、土壌の調査を行っていくことで、ハケ土壌が小金井市の水環境に与える影響がとても大きいものであることを知った。

野川が湧水の影響を受けやすいという結果から考えても、野川・湧水・ハケ土壌の三者が支えあうことで、長い間小金井市の水環境を支えていることが分かる。今回は、地元である小金井市に注目したが、日本

全域でも長年にわたり類似の関係が築かれてきたと考えられる。

また酸性雨など環境破壊の原因となる外的影響も同時に明らかになった。現在、酸性雨は世界中で問題となっている。小金井市が酸性雨の影響を受けにくい理由は本研究からも明らかになったが、土壌が酸性化され生物が生存しにくい環境となりつつある地域は海外に存在している。将来このような外的要因が排除できなければ、酸性雨の影響が確認されていない地域でも深刻な問題となるだろう。これらのことを考え、今後も水質調査に加え土壌の調査を継続し続けることで、水質に大きな影響が現れる前に環境の小さな変化に気づき、その対策を図ることが大切であると考えている。

10. 今後の展望

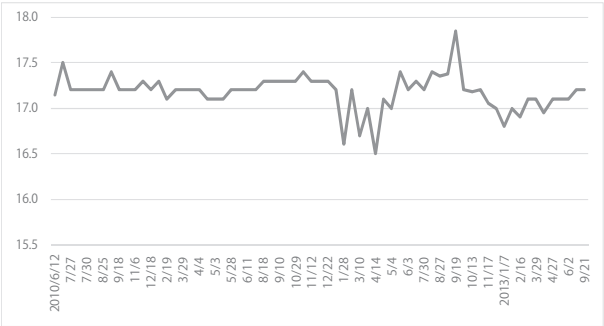
・水質調査を継続して行う。

現在の調査を行っている中で安定傾向にあった湧水の水温と水素イオン指数が2011年11月の調査以降にばらつきが見られた。(グラフ-11,12) この地域の湧水は約4～6か月かけて湧出していると言われているため、半年前である2011年3月に特に注目し、研究を行う。

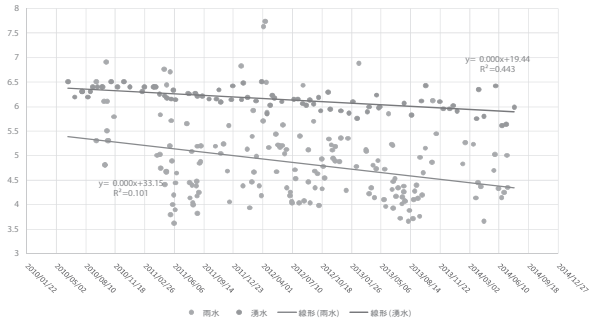
・調査場所を増やしていくことで、小金井市の水環境の特徴を確立させる。
・酸性雨による土壌へ影響について、さらに詳しくモデリング実験を行う。
・今後の酸性雨問題について、諸外国との比較を中心に考察する。

11. 参考文献

・環境中の腐植物質（三共出版）
・水循環における地下水・湧水の保全（東京地下水研究会編）
～東京の湧水～湧水マップ（東京都環境局）
・現場で役立つ環境分析の基礎（オーム社）
・東京の地質をめぐって訂正版（築地書館）
・日本列島のおいたち（日本放送出版協会）
・第四紀の日本列島
・関東ローム層と関東平野
・社会法人東京都地質調査業協会技術ノートNo.38
・神奈川県温泉地学研究所・第20回「なまずの会」研修会



グラフ-11　湧水の水温変移



グラフ-12　河川と湧水のpH 変移

東京都立多摩科学技術高等学校　科学研究部
3年　中川真優
雨内大樹
2年　松井勇樹