



Nonprofit Organization of
Conserving the Kondadai, Tsukuba
NOP 法人 金田台の生態系を守る会

金田台調査研究報告

No. 1

金田台の水—とくに地下水を中心に

田瀬則雄・高橋かよ子・後藤美千代・李 盛源

2015年8月

NPO 法人 金田台の生態系を守る会

金田台の水ーとくに地下水を中心に

田瀬則雄*・高橋かよ子*・後藤美千代*・李 盛源**

I. はじめに

里地・里山は、農地(畑地、谷津田)、ため池や水路、樹林地(雑木林)、草地など多様な自然環境を有する地域で、その豊かな自然環境は、長年にわたる人と自然のかかわりを通じて形成され維持されてきた。多様な生物の生息・生育環境として、また、食料や木材など自然資源の供給、良好な景観、水源かん養や国土保全、文化の伝承等の観点からも重要な役割を果たす場所であった。金田台もその一つであり、再生、保全していかななくてはならない。

その中で、里地・里山を構成する湧き水(地下水)、水路、ため池、湿地などの水は生産活動に不可欠であるばかりでなく、生態系の多様性の保全などにも必須の存在であり、水量、水質を健全な状態に維持することが求められている。

その基盤として、簡単な水質調査と文献から、金田台の水質について検討したので、報告する。

II. 金田台の環境

金田台は、桜川と小貝川に挟まれた筑波台地と呼ばれる洪積台地の東端に位置し、標高は 27m 前後である。西側には花室川の浅い開析谷が、桜川に面した東側には小さな開析谷が数本見られる。桜川に面した崖・急斜面の比高は 10m を超えるようなところもある(図 1)。開析谷の谷頭や谷壁からは地下水が湧き出したり、浸出(浸みだ)したりしている。これを「絞り水」と呼ぶことがある。

台地上は関東ローム層で覆われており、その厚さは 2m 程度である。その下位には常総層

* 正会員

**立正大学・地球環境科学部



図 1 金田台一帯

と呼ばれる厚さ 2m 前後(桜中学校でのボーリング調査では 1.2m、筑波大学アイソトープ環境動態研究センター圃場で最大 5m)の粘土層が、さらに成田層の砂礫層が堆積している(つくば市, 1990; 嶋田ほか, 1990)。

気象庁のつくば市館野における平年値(1981年~2010年、30年間の平均)をみると、年平均気温は 13.8℃で、最暖月(8月)平均気温は 25.5℃、最寒月(1月)平均気温は-3.2℃である。また、年降水量は 1282.9mm と国内では少ない方である。

蒸発散量は植生、土地利用により異なってくる。植生の違いでは、筑波大学環境動態研究センターでの調査観測結果があり、森林(アカマツ、シラカシ)では 600~700mm/年程度 (Iida *et al.*, 2012)、圃場の草地では 580mm/年程度と林地より若干少ない(藪崎ほか, 2005)と報告されている。

地下浸透量、地表から地下へ浸透する量は、530mm/年程度である(嶋田ほか, 1990)。

地表面での水の出入り、水収支は、年間で考えると、以下のように表される。

$$\text{降水量} = \text{蒸発散量} + \text{地下浸透量} + \text{表面流出量}$$

上述の値、すなわち降水量を 1300mm、蒸発散量を 600~700mm、地下浸透量を 550mm とすると、表面流出量は 50~150mm と推定でき、大雨でない限り、畑や林地からの地表流は発生しないと想定される。ただし、この水収支は概算で、目安である。

Ⅲ. 土地利用

里山は、自然と人の営みの中で多様性を創生し、保持してきた。植生あるいは土地利用の分布からそれらをうかがい知ることができる。また、小川(水路)、地下水、湧き水、ため池などの水質を形成する重要な因子となる。森林は、酸性雨や乾性降下物として流入してきた窒素を吸収し、森林土壌は一部の有害物質を吸着・濾過し、適当なミネラル分を供給してくれる。一方、畑や果樹園などは、肥料、土壌改良材(苦土石灰など)、農薬類などを付加することになる。とくに、窒素は地下水汚染を引き起こすことが多い(田瀬, 2004, 2012)。

また、下水道が整備されていないため、生活排水も処理の仕方で、影響を及ぼすことがある。浄化槽は、単独処理浄化槽(尿尿)と初期の合併処理浄化槽(尿尿と雑排水)は窒素を処理できないので、問題がある。雑排水の土壌浸透処理(垂れ流し)は、尿尿が別途処理されるので、必ずしも影響は大きくない。

茨城県は降水量が少なく、水源となる山地が南部では少ないため、関東甲信地区では数では最も多く農業用ため池が存在する。つくば周辺では小さな谷地の中流付近をせき止めた谷池と、台地(谷地の出口)と低地の境界に築造されたものが多いようで、金田付近には、花室池、金田池、中根池などがある(図1参照)。

特徴のある水利用として、横井戸がある。横井戸は、一般に見られる地表面から鉛直方向に掘削する縦井戸に対し、山の斜面や崖に水平方向に掘った井戸で、西坪集落には各戸がそれぞれ1井ずつ所有していたが、現在はほとんど利用されておらず、埋まったしまったもの

もある。横井戸は、重力により水を流し、利用するので、揚水する必要がなく、エコな水利用形態である。

なお、北条の古城には国の登録有形文化財(建造物)に指定されている石造の横井戸、新町には金田と同様の横井戸が存在する。

図2は1995年ころの金田台周辺の土地利用図を示したものである。20年前の状況であるが、水質を調査、検討するにはこれくらいの時間を見る必要があるので、現在の状況(図1参照)でない古い地図で作成した。ただし、現在(UR都市機構の開発・伐採の前, 2014年)と基本的には大きくは変化していない。当時は養蚕のための桑畑が広く分布していたが、現在は畑地、果樹園、荒廃地となっている。森林の分布・面積はほぼ同じである(URの開発により北西側の森林が消失した、2015年)。果樹園(主に栗園)にも大きな変化はない。金田

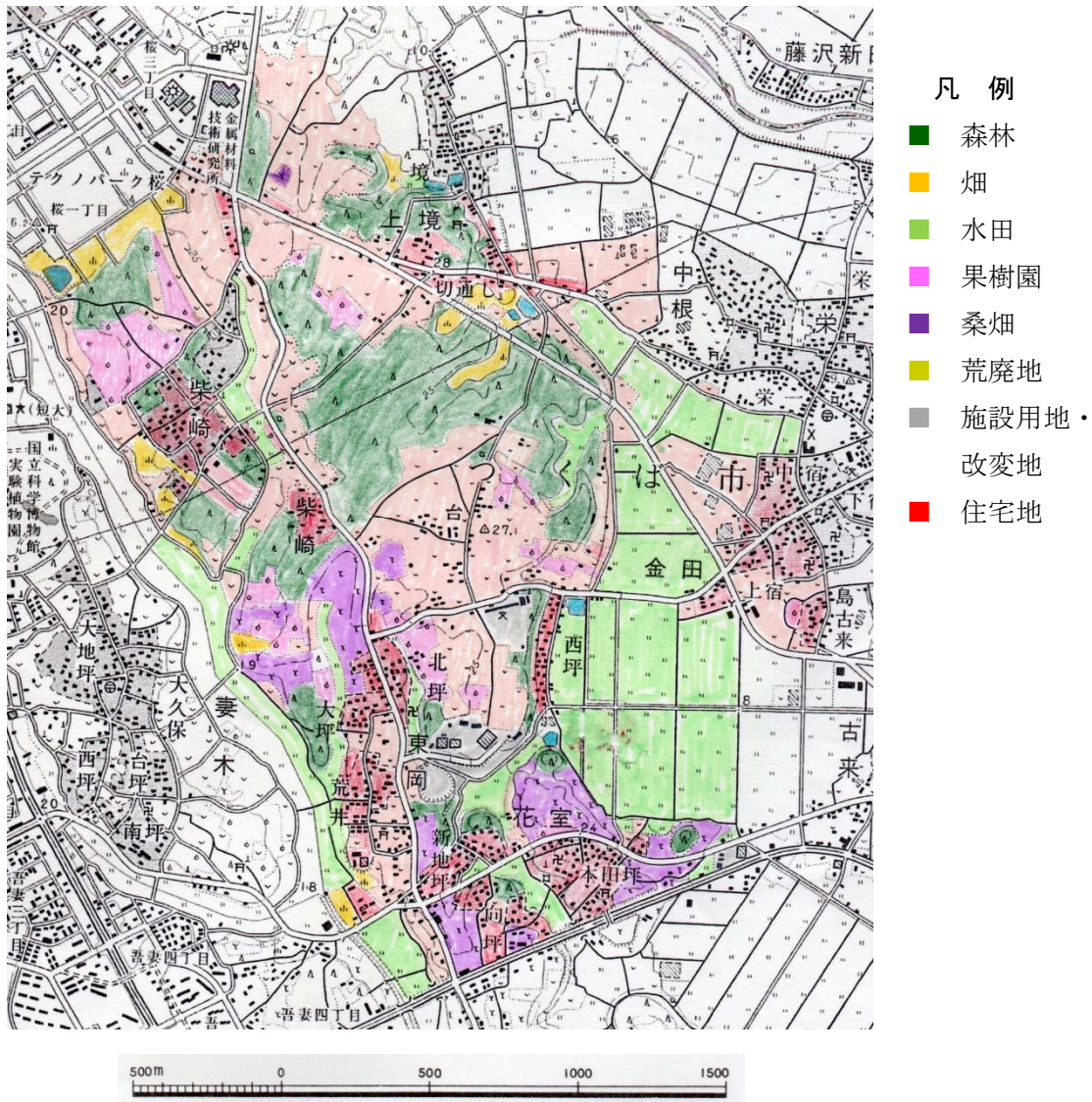


図2 1995年ころの金田台周辺の土地利用(国土地理院発行の地形図に彩色)

台の森林はかなりまとまった分布を占め、水質保全などの機能を発揮していると考えられる一方で、南半分は農地、桑畑、果樹園などで占められており、長年の農業活動の結果として、農業系の物質、とくに窒素の地下水そして湧き水などへの影響が懸念される。

IV. 水質調査

金田台の湧水、水流の水質調査を2015年5月2日に行った。採水地点は図3に示す1～5の地点で、地点1は湧泉、地点2～5は谷地を流れる表流水・小川である。

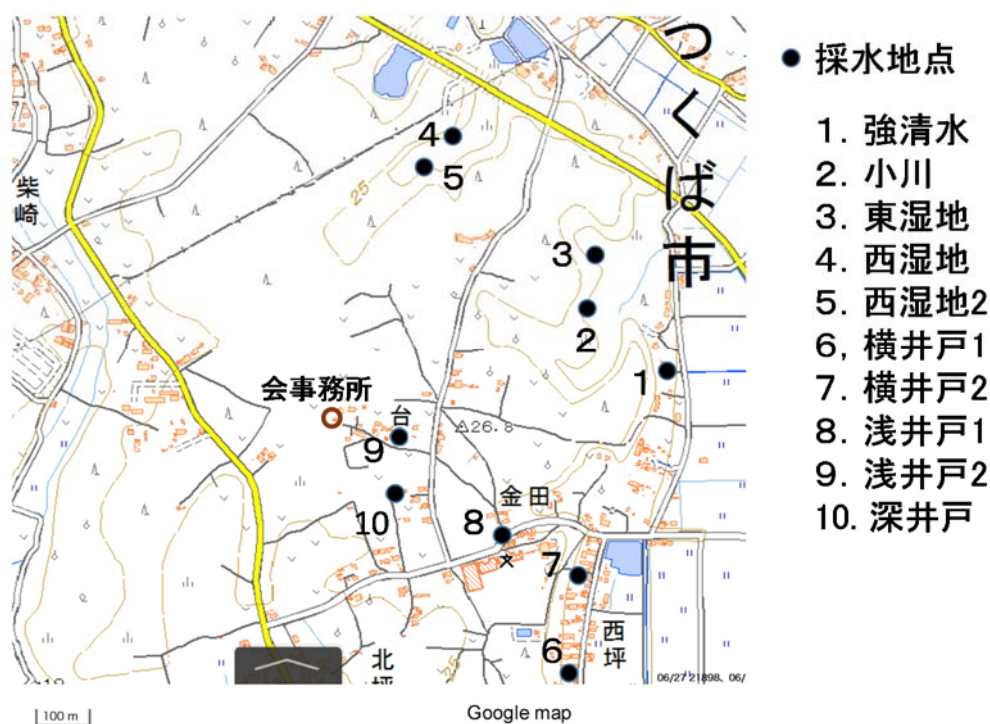


図3 採水地点および引用地点分布図

現地において、水温、pH、電気伝導度(EC)を測定し、50ccのポリビンに採水し、冷蔵保存した。分析項目はリチウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、フッ素イオン、塩化物イオン、亜硝酸イオン、臭素イオン、硝酸イオン、リン酸イオン、硫酸イオン、重炭酸イオン(炭酸水素イオン)である。分析法は表1の下部に記載した方法によった。

今回の水質と比較・参照するため、1996年(平成8年)に岩間が行った金田地区の地下水調査結果を利用した(岩間, 1997)。また、対象地域外ではあるが、筆者がつくば市で最もおいしいと思っている稲葉酒造の湧水を上げておいた。

水質の分析結果を表1に示した。

河川水や地下水などの水質組成を表現する図法として、よく使われるのが、ヘキサダイア

グラムとパイパー・トリリニアダイアグラムである(日本地下水学会、2011)。この図についての詳細は、巻末の付録1を参照していただきたい。

今回の分析結果と参考データを図3にパイパー・トリリニアダイアグラム、図4にヘキサダイアグラムとして示した。

表1 水質分析結果

採水日: 平成27年5月2日(土) 採水者: 田瀬、高橋、後藤

	Li ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	EC	pH	備考	硬度
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	μS/cm			
1 強清水	n.a.	12.1	n.a.	1.6	8.7	15.7	0.04	8.9	n.a.	0.03	6.7	n.a.	32.5	57.9	189	6.7		74.9
2 小川	n.a.	14.1	n.a.	2.6	12.7	28.0	0.04	16.2	0.03	0.04	8.2	n.a.	31.1	112.8	260	7.5		122.1
3 東湿地	n.a.	13.0	n.a.	1.7	6.7	20.4	0.05	10.0	n.a.	0.03	0.6	n.a.	24.7	79.2	200	6.9		78.6
4 西湿地	0.01	9.6	n.a.	2.2	4.7	13.3	0.04	7.3	0.01	0.04	1.8	0.07	4.5	70.1	134	7.3		52.3
5 西湿地2	0.01	8.5	0.05	1.4	4.1	10.3	0.03	7.1	0.03	0.03	3.6	n.a.	4.1	51.8	117	6.6		42.6
6 横井戸2	未分析	22.1	未分析	1.6	16.3	31.1	未分析	24.8	未分析	未分析	36.6	未分析	51.9	86.0	322	6.6	岩間(1997)	144.6
7 横井戸1	未分析	20.7	未分析	2.3	12.5	27.9	未分析	23.4	未分析	未分析	30.4	未分析	56.7	64.1	242	6.7	岩間(1997)	121.0
8 浅井戸1	未分析	12.9	未分析	1.6	11.5	19.8	未分析	21.6	未分析	未分析	42.2	未分析	21.6	64.7	292	7.0	岩間(1997)	96.7
9 浅井戸2	未分析	22.5	未分析	2.3	10.5	30.5	未分析	12.8	未分析	未分析	21.1	未分析	98.0	59.8	257	6.9	岩間(1997)	119.3
10 深井戸	未分析	13.3	未分析	1.6	11.2	26.7	未分析	13.8	未分析	未分析	14.3	未分析	113.4	59.2	250	未測定	岩間(1997)	112.7
11 稲葉酒造	未分析	7.8	未分析	0.0	7.9	29.7	未分析	10.4	未分析	未分析	1.6	未分析	1.5	130.0	273	6.9	田瀬(2006未発表)	106.7

n.a. 検出限界以下
 分析機器 陽イオン陰イオンイオンクロマトグラフDIONEX ICS-1600
 重碳酸イオン pH4.8 アルカリ度測定
 分析日 2015.5.4-5
 分析者 李 盛源 (立正大学・地球環境学部)

岩間智行(1997): つくば市中核・金田地区及び上境地区における横井戸・湧水について。平成8年度筑波大学自然科学類卒業論文。

pH は、酸性・アルカリ性を示す指標であるが、中性から弱アルカリ性で、台地部の一般的性状である。地点2の小川でpHが若干高いのは、水草や植物プランクトンによる光合成により水中の二酸化炭素(炭酸ガス)が消費され、アルカリ性になるためと考えられる。

電気伝導度(EC) は、水中に含まれる電解質(イオン類)に比例する指標で、溶存物質の量を知ることができる。おおよその目安は、100μS/cm(マイクロジーメンズ/cm)が陽あるいは陰イオン、1meq/Lに相当する。上流域で人為的影響を受けていない沢水は50~100μS/cm程度、一般の地下水は150~200μS/cm程度で、何らかの汚染の影響を受けると200あるいは300μS/cm以上となる。金田台の値をみると、地点5の西湿地2が117μS/cmと低く、比較的きれいな水とみなせる。地点6~10の井戸や横井戸は240μS/cm以上と汚染の可能性を示唆している。

今回分析した項目で、水道水質基準や環境基準として設定されている項目は、以下である。水道水質基準として、

- 亜硝酸態窒素 0.04mg/L 以下 (亜硝酸イオンに換算すると 0.13mg/L)
- 硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素 10mg/L 以下 (硝酸イオンに換算すると 44.3mg/L)
- フッ素及びその化合物 フッ素の量に関して、0.8mg/L 以下
- ナトリウム及びその化合物 ナトリウムの量に関して、200mg/L 以下
- 塩化物イオン 200mg/L 以下

カルシウム、マグネシウム等(硬度) 300mg/L 以下
 pH 値 5.8 以上 8.6 以下 である。

また、環境基準(河川、地下水)として、

水素イオン濃度(pH) 5.8 以上 8.6 以下
 硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素 10mg/L 以下 (硝酸イオンに換算すると 44.3mg/L)
 フッ素及びその化合物 フッ素の量に関して、0.8mg/L 以下

が設定されている。

今回の調査では基準を超えるものはなかったが、金田台で問題になるのは、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素で基準値は 10mg/L 以下である。表 1 では、亜硝酸イオンはほとんど無視できる量であるので、硝酸イオンだけで換算すると 44.3mg/L となる。この基準を超える地点はないが、近い井戸があり、汚染が深刻であることを示している。

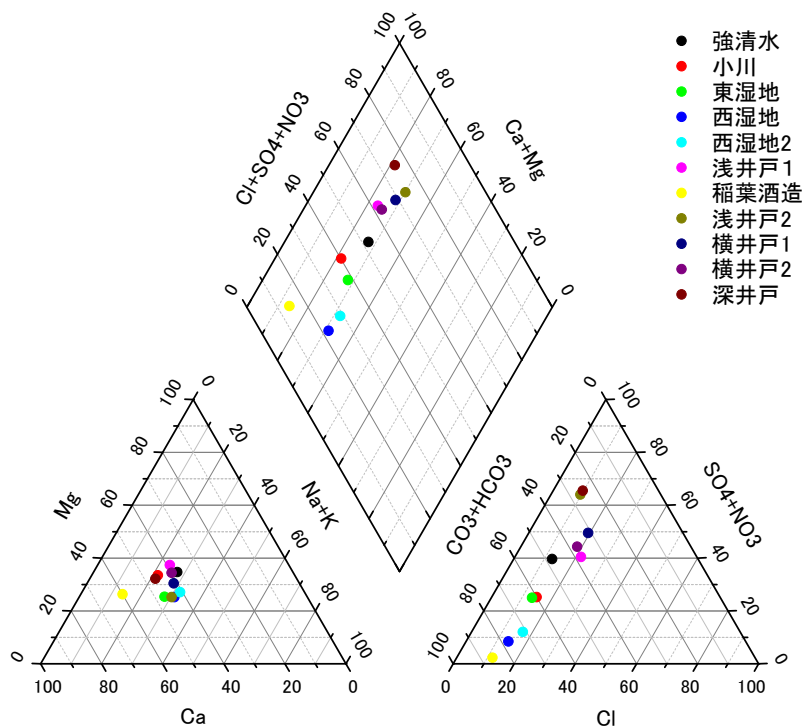


図3 パイパー・トリリニアダイアグラム

図3のパイパー・トリリニアダイアグラムをみると、ほぼ一列に並んでいるのが分かる。付録1で説明しているように、一般の河川水や地下水は、通常左側Ⅰのタイプ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)$ 型)に含まれる。地点11の稲葉酒造の地下水は、このタイプの代表で、金田台では地点2～5の表流水と地点1の強清水がこのタイプになる。残りの浅井戸、横井戸、深井戸はⅢのタイプに属する。右下の三角ダイアグラム(陰イオンの割合)をみると、重炭酸イオンの割合が減少し、硫酸イオンと硝酸イオンの合計がほぼ40%以上となっており、地形図(図1)と土地利用図(図2)からみて、農業系の物質、窒素肥料(例えば硫酸アンモニウム)や苦土

石灰(カルシウムやマグネシウム)などの土壌改良材の影響がでていると判断できる。金田台でのⅢのタイプは、農業系の物質により汚染されている水を示している。

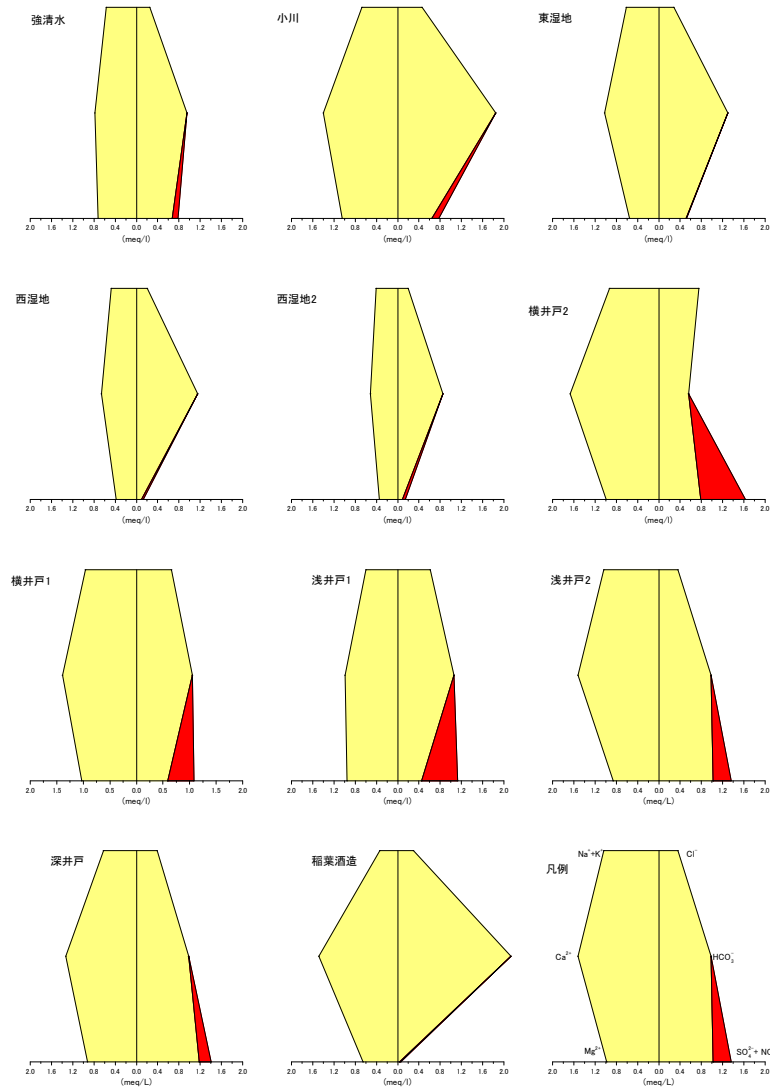


図4 ヘキサダイアグラム

これらに対応して、図4のヘキサダイアグラムをみると、汚染の影響がない、あるいは少ない水は、カルシウムイオンと重炭酸イオンが多いそろばん玉の形を呈し、赤色で示した硝酸イオンが非常に少ないことが分かる。畑地の影響を受けている水は、硝酸イオンのほか、マグネシウムイオンと硫酸イオンが多いのが特徴で、地点6の横井戸2のような矢羽根の形をしたグラフが多い。地点3~5の湿地を流れている水は、グラフの幅が狭く、溶存成分が少なくことを示し、林地を経由してきた水と考えられる。地点2の小川の水は、グラフの形から畑地の影響を受けていると考えられるが、湿地周辺での脱窒により、硝酸イオンが減

少し、重炭酸イオンが増加したと考えられる。

おいしい水、水の味を決めるということなどで関心の高い硬度を計算してみた。硬度は、水中のカルシウムイオンとマグネシウムイオンの濃度（総硬度）を炭酸カルシウム（CaCO₃）に換算した値（アメリカ硬度）、mg/L を単位として表す。換算方法は、カルシウムの原子量は 40、マグネシウムの原子量は 24.3、炭酸カルシウムの分子量は 100 なので、カルシウム濃度・マグネシウム濃度からの計算は次式なる。

$$\text{硬度(mg/L)} \simeq \text{カルシウム濃度(mg/L)} \times 2.5 + \text{マグネシウム濃度(mg/L)} \times 4.1$$

硬度の値によって、硬水や軟水という名称で呼ばれる。分類の基準はいくつかあるが、世界保健機関（WHO）の基準では、アメリカ硬度で

0 - 60 未満	軟水
60 - 120 未満	中程度の軟水（中硬水）
120 - 180 未満	硬水
180 以上	非常な硬水

としている。

水道水質基準では、硬度は 300mg/L 以下となっており、日本ではこの 300mg/L 以上の水を、一般に硬水とすることが多い。

表 1 の値を見ると、基本的には 120 以下であり、軟水といえる。ただし、WHO の分類で硬水に分類されるものが 1 点ある。全体として、土壌改良材（苦土石灰など）の影響を受けて、硬度が高くなっていると言える。フランスのエビアンやヴィッテルなど 300 を超える硬水は、地層（石灰岩や大理石など）起源である。

V. おわりに

金田台の水、地下水は、森林部を水源としている地域はきれいな水を保持しているが、涵養域となる後背の台地部が畑地・果樹園などの場合、農業系の物質により汚染されている。

UR 都市機構の開発により、今回北西部分の森林が伐採された。森林は蒸発散として水を消費するが、安定した水資源涵養域として機能する。この開発地が住宅地や商業地として利用されると、雨水の多くは下水道へ流入することになり、地下水の涵養量が激減し、水量・水質に大きな影響を与える可能性があり、今後の推移を注意深く見守る必要がある。

参考文献

岩間智行(1997)：つくば市中根・金田地区及び上境地区における横井戸・湧水について。平成 8 年度筑波大学自然学類卒業論文。

嶋田 純・谷口真人・河村隆一(1990)：筑波台地における地下水環境の実態。筑波大学推理実験センター報告, No.14, 75-79.

http://www.ied.tsukuba.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/pdf_papers/ercbull14/1475.pdf

田瀬則雄(2004): 硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染の現状と動向. 環境管理, **40**(3), 255-263.

田瀬則雄(2009): 第8章 水・物質循環. 杉田倫明・田中正編著「水文科学」, 共立出版, 197-222.

田瀬則雄(2012): わが国における地下水汚染の現状と課題. 安全工学, **51**(5), 290-296.

田瀬則雄(2014): 環境中の窒素の流れと地下水の硝酸性窒素汚染. 畜産環境情報, 第54号, 1-14. http://www.leio.or.jp/pub_train/publication/tkj/tkj54/tkj54-1.pdf

つくば市(1990): つくば市立桜中学校改築工事地質調査報告書.

日本地下水学会編(2011): 地下水用語集. 理工図書, 143p.

水尻正博・藪崎志穂・田瀬則雄・辻村真貴(2006): 茨城県つくば市における湧水の特徴. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **No.7**, 15-29.

http://www.ied.tsukuba.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/pdf_papers/tercbull07/t715.pdf

藪崎志穂・田瀬則雄・萩野谷成徳(2005): 陸域環境研究センターにおける蒸発散量推定法の検討. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **No.6**, 45-51.

http://www.ied.tsukuba.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/pdf_papers/tercbull06/t645.pdf

S. Iida, T. Tanaka, M. Sugita(2006): Change of evapotranspiration components due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. *Jour. Hydrology* 326, 166-180.

つくば市図書館で利用できる参考書

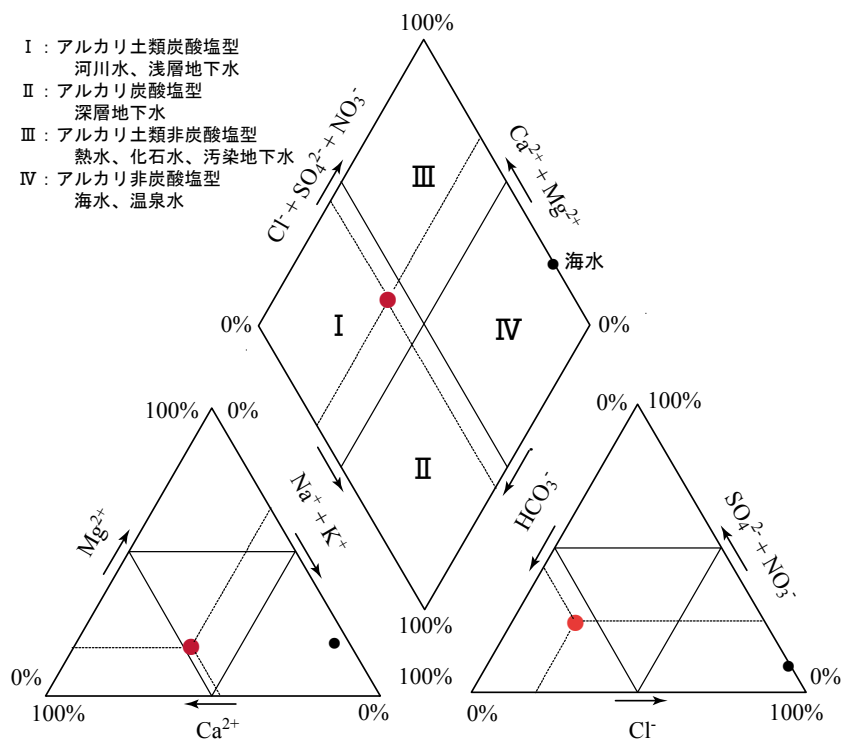
日本地下水学会「名水を科学する」編集委員会編(1994): 名水を科学する. 技報堂出版, 299p.

付録1

ヘキサダイアグラムは、 $(\text{Na}^{++}\text{K}^{+})$ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 HCO_3^{-} 、 $(\text{SO}_4^{2-}+\text{NO}_3^{-})$ 濃度(当量、meq/L)の大きさを、中央鉛直線からの距離で六角形に示す。中央線から頂点までの長さが各々の成分の濃度を示すので、六角形の大きさが濃度の高低を、また六角形の形が水質組成の特徴を表す。特殊な成分を多く含んでいない水では、陽イオン総量と陰イオン総量がほぼ等しくなるので、バランスのとれていない場合は、含めていない重要な項目があったり、分析のが不備などを検討する必要がある。本報告では、左側に陽イオン、右側に陰イオンを配しているが、左右反対であったり、項目の順番などが異なる図式を採用している研究者もいるので、比較するときは注意が必要である。

パイパー・トリリニアダイアグラムは、主要無機溶存イオンである Na^{+} 、 K^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^{-} 、 HCO_3^{-} 濃度(当量、meq/L)の相対的割合(%)を示す。総陽イオン中に占める $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$ の割合、および $(\text{Na}^{++}\text{K}^{+})$ の割合、総陰イオン中に占める $(\text{Cl}^{-}+\text{SO}_4^{2-}+\text{NO}_3^{-})$ の割合、および HCO_3^{-} の割合が中央のダイヤ型グラフに示され、左側の三角グラフには、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $(\text{Na}^{++}\text{K}^{+})$ が、右側の三角グラフには Cl^{-} 、 $(\text{SO}_4^{2-}+\text{NO}_3^{-})$ 、 HCO_3^{-} の割合が各々

示される。イオン濃度の絶対値は示されないが、相対的割合の類似したサンプルの値が近傍にプロットされるので、水質組成の分類や水循環にもなう水質進化を示すのに適している。下図のように中央のグラフを50%の線で区分すると、IからIVの水質型に分類できる。I型は一般にCa(HCO₃)型と呼ばれ、一般の河川水や浅層の地下水が属する。ここで一般とは、汚染されていないとか特殊な環境で特殊な成分を多く含まないとの意味である。II型に



は淡水性の被圧地下水、深層地下水など地層との接触時間が長い水が含まれる。III型には、熱水や化石水、あるいは肥料などにより汚染された地下水などが含まれる。IV型は海水、化石塩水、温泉水などのほか、生活排水の影響を受けた水などが相当する。

上図の黒丸(●)は海水の値値を示しているが、赤丸(●)の値は日本の河川の平均の値を示しており、点線が軸と交わったところその割合(%)である。それぞれの値は下表を参照されたい。

●日本の川(平均)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	陽イオンの和	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	陰イオンの和
a:濃度 (mg L ⁻¹)	6.7	1.2	8.8	1.9	—	5.8	10.6	0.0	31.0	—
b:1当量	23.0	39.1	20.0	12.2	—	35.5	48.0	62.0	61.0	—
c=a/b:当量 (me L ⁻¹)	0.291	0.031	0.440	0.156	0.918	0.163	0.221	0.000	0.508	0.892
d:グループの当量 (me L ⁻¹)	0.322		0.596		0.918	0.384		0.508	0.892	—
e:組成 (%)	31.7	3.3	47.9	17.0	100.0	18.3	24.7	0.0	56.9	100.0
f:グループの組成 (%)	35.1		64.9		100.0	43.1		56.9	100.0	—

なお、濃度 (mg/L) から当量(meq/L) への変換、図の描き方、については、日本地下水学会「名水を科学する」編集委員会編(1994)や田瀬(2009)などを参照されたい。