

ミャンマーの井戸水，水道水の調査研究

三重大学大学院生物資源学研究科* 正会員 ○千田 眞喜子

三重大学大学院生物資源学研究科 フェロー 葛葉 泰久

Yangon University nonmember Kay Thwe Hlaing

三重大学教育学部 非会員 宮岡 邦任

三重大学大学院生物資源学研究科 非会員 春山 成子

(*兼任 京都光華女子大学・大阪成蹊短期大学)

1. 序論

日本と比して，ミャンマーは，上下水道が整備途上¹⁾であり，それ故，水が原因の様々な健康被害が懸念される．健全な水環境保持のため，水質調査を行い，自然環境や生活環境の現状を把握することが，重要である．著者らは2010年1月と9月，2011年9月に現地調査を行ったが，本研究では，2010年9月にCl⁻濃度が顕著に多かった²⁾地点を中心に，水源も含め，ミャンマーの水質を調べ，水域環境について検討した．

2. 観測方法及び解析手法

調査は，2011年9月にミャンマーのデルタ地帯で行った．主にYangon市周辺で，tube well 及び well の水（以後，“井戸水”と称す），浄水場の塩素消毒後の水道水及び水道水（以後，“水道水”と称す），浄水場の塩素消毒前の水，水道水の水源，市販のミネラルウォーターの採水を行った（図1）．現地で電気伝導度（EC），pH と水温を測定し，採取した水は，試料ビンに入れて研究室に持ち帰り，ICP-OES で，Al³⁺，Ba²⁺，Cu²⁺，Fe²⁺，Mn²⁺，Ni²⁺，Pb²⁺，Zn²⁺を，イオンクロマトグラフィーで，F⁻，Cl⁻，NO₂⁻，Br⁻，NO₃⁻，PO₄³⁻，SO₄²⁻，Li⁺，Na⁺，NH₄⁺，K⁺，Mg²⁺，Ca²⁺を測定した．HCO₃⁻濃度は，ピュレットによる0.01M 硫酸による滴定法で，M アルカリ度より求めた．得られた結果を用いて，イオンバランスチェック，Piper diagram による水質分類，濃度相関マトリクス法分析，主成分分析，クラスター分析（ward 法）を行った．

3. 結果及び考察

3.1 イオンバランス

各試料のアニオンとカチオンの総当量濃度には正の相関関係が見られた（図2）．イオンバランスチェックの計算の結果，基準に適合しなかったサンプルは，37 サンプル中6 サンプル（井戸水のN1，N8，N11，N17，N20-T，水道水のN19G）であった．これらのサンプルが基準から外れた原因として，測定ミス，または，今回の測定した項目以外の成分が含まれていた可能性が考えられる．これらの6つのサンプルは，参考値として以後の解析に用いた．

3.2 水の性状

全サンプルのECの平均値，最小値（N14G），最大値（N16T）はそれぞれ，38.93mS/cm，5.01mS/cm，467mS/cmであった．また，pHの平均値，最小値（N16T），最大値（N4）はそれぞれ，6.78，5.10，9.80であった．サンプル，採取場所によって成分量に大きくばらつきが見られた．特に，N16T と他のサンプルの各項目の最大値をみても，TDC（Total Dissolved Solid：各成分濃度を積算して求めた）（31,118 μmol/L）は，他のサンプルと比較して2倍以上の高い値となっており，総モル濃度が異常に高いことがわかる．さらに，そのうち2分の1以上を占めているCl⁻は，3倍近く高い値だった．このようにCl⁻の濃度が高いと飲用する場合に塩味になることが考えられた．また，K⁺の割合が大きいため，KClが多く含まれていることが推定される．また，Mg²⁺やZn²⁺は平均値の10倍，その他，Br⁻，Ba²⁺も最大値であった．さらにCa²⁺は二番目に多かったが（最大値はN5），平均値の約5倍の値であった．また，窒素がNO₂⁻

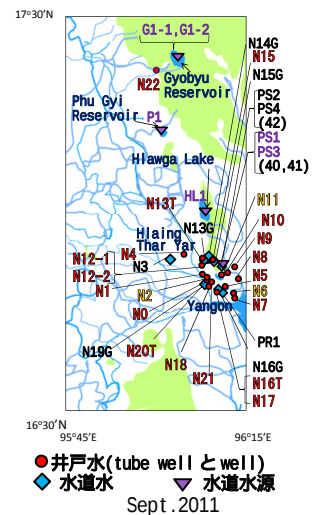


図1. 採水地点

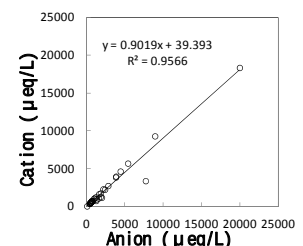


図2. アニオンとカチオンの総当量濃度

及び NH_4^+ として存在し、 Fe^{2+} も検出された還元環境特有の水質を示すサンプルが多く、これらは、そのままでは飲料に適さない水質であった。

3.3 水質による水の分類

全サンプルをバイパーダイアグラム³⁾にプロットとした(図3)。バイパーダイアグラムでは、水道水は、概ね“ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ と $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ タイプ”に分類され、主に浅層地下水・河川水のタイプに相当した。一方、井戸水は“ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ と $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ タイプ”、“ CaCl_2 と CaSO_4 タイプ”に分類された。“ CaCl_2 と CaSO_4 タイプ”の、井戸水(N1, N4, N5, N6, N8, N9, N11, N17)及び水道水(N19G)は、温泉水または工場排水・施肥・畜産排せつ物など人為的汚染の影響を受けていることが示された。また、水道水の浄水場(PS1, PS2, PS3, PS4)から給水口(N14G, N15G, N16G, N3, N19G)までの経路に、汚染物質の混入する箇所があることが示唆された。

また、主成分分析によると、“井戸水”と“浄水場から配水された水道水”の成分は採取地点により様々であり、“水道水源”と“浄水場の水”の成分はほぼ同じであることがわかった。さらに、“浄水場から配水された水道水”は、概ね、“水道水源”及び“浄水場の水”と比して水質が異なっていたことは、蛇口までの配水過程で何らかの汚染の可能性が考えられ、このような水道配水システムの改善を急ぐことが望ましい。

さらに、クラスター分析の結果(図4)から、37 サンプルを5つのグループに分類した。表1にミャンマーの水のクラスターグループの水質の平均値を示す。Group1 は、井戸水の N16T で、測定イオンの総モル濃度が最も多かった。特に他のグループと比較して、 Cl^- , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} が最も多く含まれていた。Group2 は、井戸水の N5 と N8 で、 NO_2^- , SO_4^{2-} が最も多く、 Fe^{2+} が最も少なかった。Group3 は、井戸水の 13T と水道水の PS2 で、 HCO_3^- , Na^+ , Al^{3+} が多く含まれていた。Group4 は、井戸水の N4, 9, 水道水の N3

である。N3 は他の水と水源が異なっていた。これらの水は、 NH_4^+ が最も多く含まれており、pH が最も高かった。その他のサンプルは Group5 に属し、他のグループに比べて総モル濃度が最も低かった。さらに、重金属の多くが、Group1、もしくは Group5 に含まれていた。特に、Group5 にのみ存在する成分が Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 等があり、人為的汚染も考えられる。

4. 結論

1)水道水，水道水源は，概ね“ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ と $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ タイプ”に分類され，主に“浅層地下水・河川水”のタイプに相当した． 2)井戸水は“ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ と $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ タイプ”や“ CaCl_2 と CaSO_4 タイプ”に分類され，主に“浅層地下水・河川水”や“温泉水・化石塩水”のタイプに相当した． 3)井戸水，水道水に飲用に適さない汚染された可能性の高い水が確認された．それらは，温泉水または工場排水・施肥・畜産排せつ物など人為的汚染の影響を受けていることが考えられる． 4)水道水が給水口まで汚染されず，また，井戸水に汚染物質が混入しないシステムの構築が望まれる．

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（課題番号：21401003，代表：春山成子）による支援を受けました。ミャンマーの関係者，ならびに ICP 測定に際し，ご教示を賜った三重大学伊賀研究拠点の紀平征希博士，加藤進教授と計測を行った高木奈緒さんに深謝致します。

参考文献：1) <http://www.wepa-db.net/policies/state/myanmar/myanmar.htm> 2) 千田ら(2011)ミャンマーの水域環境の調査研究,土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, 39-40. 3) 濱田(2011)ダイアグラム自動作成 Excel ブック Ver.1.0. Catch My Earth.com.

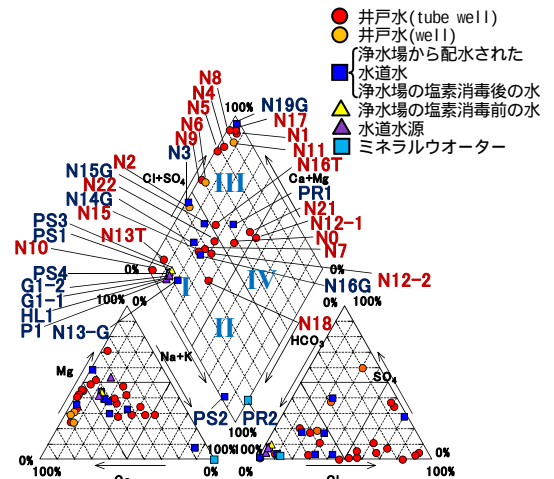


図3. パイパーダイアグラム

型：炭酸塩硬度型
($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ または $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) タイプ

($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ または $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ タイプ、
浅層地下水・河川水等)

型:炭酸塩アルカリ型

(NaHCO_3 タイプ、
深層地下水・停滞型地下水等)

型:非碳酸盐硬度型

(CaCl_2 または CaSO_4 タイプ、
温泉水・化石塩水等)

型:非炭酸塩アルカリ型

(NaCl または Na_2SO_4 タイプ、
海水・海水が混入した地下水)

海水・海水が混入した地下水・
温泉水等)

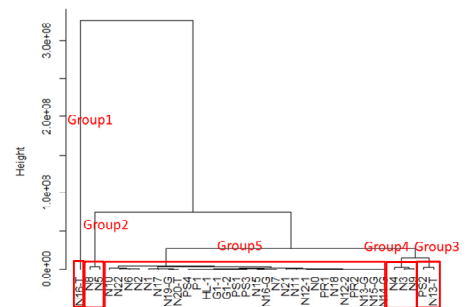


図4. クラスタ分析結果

表1. クラスタ分析によるグループの水質の平均値

Cluster Group	EC mS/cm	pH	F μmol/L	Cl μmol/L	NO2 μmol/L	Br μmol/L	NO3 μmol/L	PO4 μmol/L	SO4 μmol/L	HCO3 μmol/L	Li μmol/L	Na μmol/L	NH4 μmol/L	K μmol/L	Mg μmol/L	Ca μmol/L	Al μmol/L	Ba μmol/L	Cu μmol/L	Fe μmol/L	Mn μmol/L	Ni μmol/L	Pb μmol/L	Zn μmol/L
Group1	467.00	5.10	0.31	17.905.50	0.00	47.46	0.00	0.00	173.16	1.633.60	0.00	0.00	0.00	4.365.20	4.383.06	2.593.12	0.00	3.64	0.00	4.28	7.34	0.00	0.03	1.52
Group2	77.36	6.50	3.25	6.400.45	183.23	14.96	1.82	0.00	207.84	1.265.05	0.00	0.00	0.00	60.95	1.307.30	1.826.70	0.00	1.35	0.00	0.10	4.29	0.00	0.02	0.00
Group3	31.20	6.78	1.95	230.55	6.15	0.00	1.10	0.00	58.92	4.219.51	0.00	185.42	0.00	11.93	421.18	1.068.41	0.53	0.00	0.00	1.31	0.01	0.00	0.03	0.00
Group4	73.80	8.00	6.88	2.025.81	65.69	5.15	22.99	0.00	59.72	1.419.85	0.00	422.23	50.20	934.68	713.73	0.00	0.25	0.00	5.20	1.35	0.00	0.02	0.00	0.00
Group5	17.72	6.73	2.03	242.23	9.40	0.05	119.20	0.77	73.56	443.54	0.12	108.55	0.97	28.05	168.45	204.29	0.50	0.37	0.15	0.94	1.48	0.08	0.00	0.09