

中国産農産物の栽培地域の土壌・環境水中元素分析

猶原 順・林 愿

岡山理科大学大学院工学研究科生体医工学専攻

(2021年10月28日受付、2021年12月9日受理)

1. 目的

中国では、生活環境及び生態環境の保護・改善、汚染及びその他の公害の防止・抑制により、人の健康を保障し、社会主義の近代化建設を推進することを目的として中国環境保護法が制定されている。また、日本では、2002年に土壌汚染対策法で土壌有害汚染物質について溶出基準や含有量基準が定められている¹⁾。農産物に直接影響を与える栽培地域の土壌環境の有害元素含有量について人々の関心が高まっている。さらに、微量元素の動態を知ることは、大気圏・水圏・地圏・生物圏における物質循環に関する情報を得ることができる点や、人間活動における人為的汚染の程度を評価できる点など、環境化学や海洋化学にとって重要な課題である²⁾。

土壌汚染対策法では、汚染土壌がヒト健康に影響を及ぼす経路として土壌汚染に由来して汚染した地下水を飲用する経路に加えて、土ほこりを吸い込んでしまう場合や、子供が手に付いた土を口にしてしまう場合など汚染土壌の摂食および皮膚接触(吸収)などの土壌そのものを直接摂取する経路を取り上げている³⁾。土壌の汚染が問題になる重金属は、Cd、Cu、As、Zn、Hg、Sb、Crなどである。このような重金属による農業環境の汚染は図1のようになり、最終的には人間への被害につながる場合もある⁴⁾。1970年に制定された「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」で特定有害物質に指定されている重金属⁵⁾は、Cu、Cd、Asの3元素である。

本研究では、前報⁶⁾で試料とした農産物の栽培地域の土壌と環境水中の48元素(Li、Be、B、Na、Mg、Al、Si、K、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr、Y、Rh、Ag、Cd、In、Cs、Ba、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Hg、Tl、Pb、Bi、Th、U)をICP-MSにより分析した。また、土壌から水系への土壌元素溶出係数を算出した。

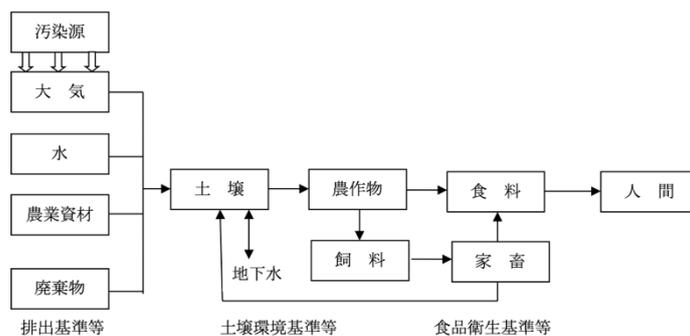


図1 農業環境における重金属汚染の流れ

2. 実験方法

2-1 土壌用出液のpH及びTOC (Total Organic Carbon)

本土壌にMilli-Q水を加えて振とうし、ガラス電極pHメーター(HORIBAF-51 ガラス電極式水素イオン濃度指示計)でpHを測定した。

500℃で焼成し、有機物を除去したバイアル瓶に、DISMICでろ過した土壌溶出液を入れ、TOC計(SHIMADZU製)によりTOCを測定した。

2-2 土壌及び環境水中元素分析

土壌試料は、乾燥後粉碎した。水試料はDISMIC (ADVANTEC、0.45 μm)でろ過した。土壌試料はマイクロウ

エーブ試料分解装置(Multiwave3000: Anton Paar製)にセットし、600 W、150 °C、30分間分解した。試料分解後、DISMIC(ADVANTEC、0.45 μm)でろ過し、定容とした。前処理を行った試料溶液は、ICP-MSにより48元素を分析した。

土壤の水溶出液は、50 mlスチロール瓶に風乾細土10 g、Milli-Q水 25 mlを入れ、スチロール瓶を振とう後、30分間放置した。上澄みの部分を0.45 μm のDISMIC(ADVANTEC)でろ過し、ろ液を100 mlにメスアップした(図2)。

土壤の硝酸溶出は、50 mlスチロール瓶に風乾細土10 g、Milli-Q水25 mlを入れ、スチロール瓶を振とう後、30分間放置した。これに HNO_3 20 μl を入れ、30回振とう後、上澄みを0.45 μm のDISMIC (ADVANTEC)でろ過し、ろ液を100 mlにメスアップした(図2)。

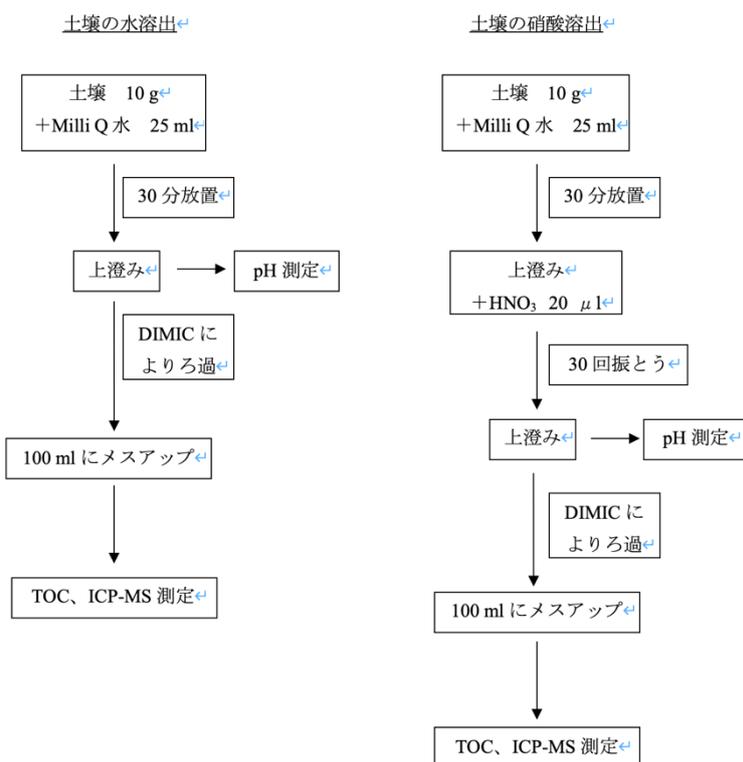


図2 土壤の水及び硝酸溶出方法

3. 実験結果および考察

3-1 土壤溶出液のpH

図3に土壤溶出液のpHを示した。土壤溶出液のpHは5~8.5であった。最も低いpHは黒龍江省の水田の土壤でpH 5.12であった。同じ黒龍江省の畑のpHは5.68と低い値であった。これらのpHの低い土壤では作物の栽培に何らかの支障が出ている可能性が考えられる。一方、河北省の土①~③と畑では、pHは8以上であり、北京市畑でもpH 8.67と弱アルカリ性となった。同様に山東省畑のpHも8.34と弱アルカリ性となった。日本の土壤のpHは岡山市の畑でpH 7.83と7.40であり、水田ではpH 6.14と弱酸性となった。

日本の土壤は酸性を示すものが多く、その要因は火山灰土壤であることと多雨気候からCa、Mgといった塩基類が乏しいことが上げられる。未耕地土壤ではpH 5以下の土壤も珍しくない。土壤のCa、Mg、Kといった塩基やそれらを保持する能力の塩基置換(交換)容量から算出される塩基飽和度と密接な関係がある。塩基飽和度が低ければ、土壤のpHは低くなり、高くなれば土壤のpHも高くなる。おおよそ塩基飽和度が80%程度で6.0~6.5程度になる⁷⁾。

中国の土壤型⁷⁾をpHで6区分に分類している。その分類は、①強酸性土壤 - pH 5以下、②酸性土壤 - pH 5~6、③微強酸性土壤 - pH 6~7、④中性土壤 - pH 6.5~7.5、弱アルカリ性土壤 - pH 7.5~8.5、⑥強アルカリ性土壤 - pH 8.5以上であり、黒龍江省水田は①強酸性土壤に分類される。この土壤ではAlイオンを含み、作物に有害であると考えられる。水稻の栽培にはpH 5~7が適であり、日本の岡山市の水田はpH 6.14と

適している。佐々木ら⁸⁾は日本の土壌のpHを調べており、米を栽培している水田のpHは5.2~6.3としている。今回測定した日本の岡山市の水田の値と一致しており、米の栽培に適していることがわかった。

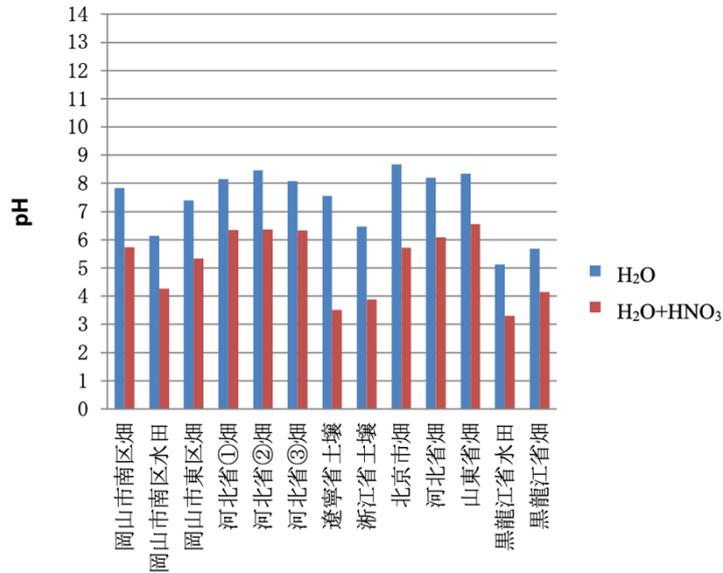


図3 土壌溶出液のpH

3-2 土壌溶出液のTOC

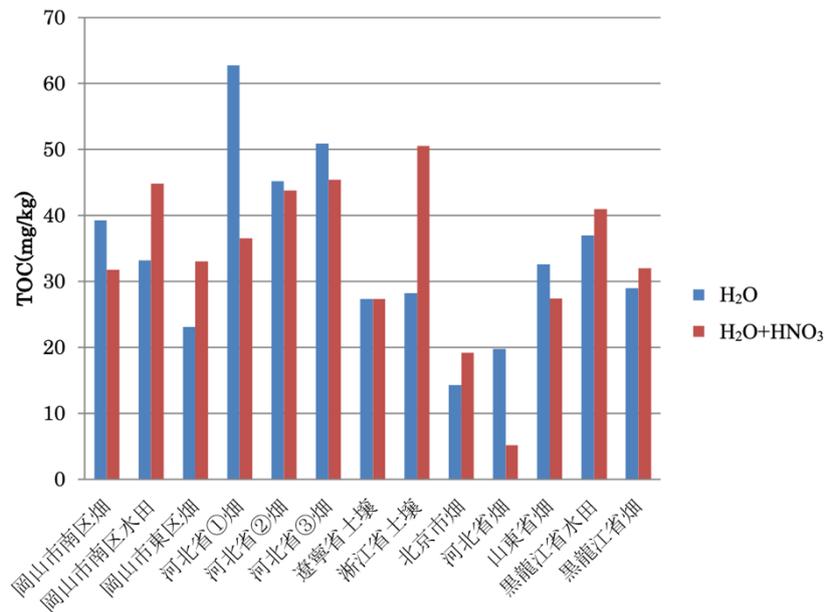


図4 土壌溶出液のTOC

図4に土壌溶出液のTOCを示した。青色の棒グラフは水溶出液を、赤色の棒グラフは、硝酸を20 μl添加し、測定した。TOCは土壌の溶液に溶解する有機物量を表しており、その土壌で栽培されている農産物が利用できることを意味している。すなわち、この値が高ければ、土壌は肥沃であり、低いと土地が痩せている。地域別にみると、河北省で高く、北京市で低い値であった。土壌の硝酸溶出液中TOCは浙江省で高い値を示した。人工的に土壌への硝酸添加は土壌のpHを低下させており、酸性雨による影響を調べたが、結果は特に一定の傾向は認められなかった。

3-3 土壤及び環境水中元素濃度

表1 土壤の元素濃度

地域	元素(mg/kg)																
	Li	Be	B	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
浙江省土壤	0.29	0	213	2275	3506	2515	D.L.	626	11293	0.06	0.71	0	1.14	9.43	0.02	0.51	1.29
遼寧省土壤	0.23	0	201	1078	169	1772	D.L.	7704	976	0.00	0.18	0	2.15	17.54	0.06	0.27	0.71
北京市畑	3.92	0.14	175	80.5	△3654	△3603	D.L.	△657	9804	△3.19	△9.73	6.56	△108	△5094	△2.64	△5.56	△3.97
山東省畑	24.6	0.62	144	395	9132	22403	D.L.	3945	△2957	5.81	31.8	27.8	469	21202	9.22	23.6	16.7
河北省畑	22.2	0.87	280	△417	8333	27285	D.L.	4349	13440	5.28	35.8	29.8	516	22324	10.5	23.3	20.3
黒竜江省水田	20.8	1.29	180	217	4470	27223	D.L.	4933	3611	5.60	37.3	29.1	587	21577	9.78	20.4	16.5
黒竜江省畑	18.4	1.00	206	229	4758	28226	D.L.	6376	4374	5.18	30.1	25.8	593	19785	9.58	21.4	16.9
河北①畑	18.7	0.67	0.76	208	9893	17864	D.L.	2710	18041	4.42	26.5	21.8	367	16808	8.02	18.7	15.8
河北②畑	17.1	0.45	23.2	169	9002	15507	D.L.	2833	15950	7.92	24.4	19.6	311	14833	6.90	15.6	13.3
河北③畑	27.8	0.75	0	212	△1184	12847	D.L.	2274	24323	9.35	38.8	32.4	525	24128	10.9	26.5	24.1
岡山市南区畑	53.9	1.42	169	40.3	6247	44334	D.L.	5468	8453	3.40	△2.4	44.9	△1038	27246	10.8	27.9	△52.5
岡山市南区水田	62.1	1.59	34.8	58.6	5912	△55263	D.L.	5222	△2990	3.57	△51.1	48.7	△1378	△31201	△12.8	△28.2	35.6
岡山市東区畑	18.1	0.46	80.3	△18.7	7564	20185	D.L.	△7711	12469	5.24	31.2	36.3	458	16967	6.91	15.4	23.4
割合				22	3	15		12	11	3	5		13	6	5	5	13

地域	元素(mg/kg)																
	Zn	Ga	As	Se	Rb	Sr	Ag	Cd	In	Cs	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
浙江省土壤	3.38	0	0.50	0	2.21	25.6	0.0	0.02	0	0	2.95	0	0	5.51	0	0	0
遼寧省土壤	0.01	0	△0.15	0	0.08	3.96	0.01	0.00	0	0	1.25	0	0	1.40	0	0	0
北京市畑	△2.6	0.91	△2.52	0	△2.96	△19.2	0.08	△0.02	0.02	0.37	△23.8	△0.31	0.07	△2.11	0.38	2.18	0.24
山東省畑	43.0	4.83	8.51	0	22.5	△107	0.31	0.13	0.04	3.49	101	0.28	0.37	13.9	0.84	8.84	1.13
河北省畑	49.7	5.33	6.48	0	21.5	49.7	0.25	0.11	0.03	2.72	131	0.00	0.33	15.0	0.63	7.82	0.70
黒竜江省水田	71.2	6.68	6.10	0	32.7	35.1	0.19	0.09	0.03	3.37	△143	0.00	0.36	15.6	0.67	9.69	1.30
黒竜江省畑	53.5	5.51	5.27	0	26.9	39.2	0.21	0.05	0.02	2.51	140	0.00	0.30	13.9	0.79	8.73	1.11
河北①畑	40.6	3.87	6.05	0	16.1	42.4	0.18	0.12	0.02	2.02	92.2	0.00	0.28	14.2	0.44	7.52	0.86
河北②畑	35.9	3.57	4.53	0	16.4	38.0	0.16	0.07	0.02	1.74	83.1	0.00	0.24	12.2	0.73	5.49	0.54
河北③畑	64.9	5.82	8.33	0	25.1	60.4	0.24	0.19	0.03	2.95	135	0.00	0.37	19.6	0.76	8.20	1.06
岡山市南区畑	△148	10.1	6.87	6.95	△44.0	47.3	0.31	△0.70	0.07	5.45	128	0.09	0.83	△38.2	1.86	9.90	1.76
岡山市南区水田	81.7	11.0	△9.30	7.10	43.4	33.4	0.24	0.36	0.07	5.86	68.7	0.03	0.77	33.6	1.30	8.94	1.60
岡山市東区畑	71.6	5.20	3.12	7.10	18.9	39.2	0.13	0.35	0.03	2.49	59.0	0.07	0.27	10.6	0.91	3.14	0.91
割合	12		6		15	6		35		6			12				

最小: △

最大: ○

土壤中元素濃度を表1に示した。測定した元素の内、最も濃度の高い元素は、Alであった。Al濃度は2 g/kg～55 g/kgであり、地域によっては10倍以上の差があった。同様にCaでも、一部の地域では他の地域に比べ極端に低い値であり、Ca濃度は1 g/kg～33 g/kgであった。Fe濃度は1 g/kg～31 g/kgであり、地域により、濃度に差が見られた。地域別にみると岡山市南区の畑、水田ともに中国のものよりも高い元素が多く見られた。

表2 土壤の希土類元素

地域	元素(mg/kg)														
	Y	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
浙江省土壤	2.32	5.06	10.3	1.16	4.63	D.L.	0.78	0.09	0.06	0.40	0.03	0.22	0.00	0.21	0.00
遼寧省土壤	1.31	4.74	9.98	1.15	4.45	D.L.	0.68	0.08	0.03	0.27	0.01	0.12	0.00	0.07	0.00
北京市畑	12.0	29.1	59.3	7.25	27.2	D.L.	4.83	0.73	0.48	2.53	0.43	1.35	0.11	0.92	0.10
山東省畑	13.7	29.9	61.6	7.61	28.2	D.L.	5.24	0.92	0.53	2.83	0.49	1.57	0.14	1.04	0.12
河北省畑	13.3	27.4	56.1	6.81	25.9	D.L.	5.01	0.87	0.54	2.96	0.47	1.45	0.13	1.06	0.12
黒竜江省水田	13.6	28.5	58.8	7.16	26.5	D.L.	5.00	0.84	0.50	2.93	0.48	1.49	0.13	1.10	0.14
黒竜江省畑	14.2	28.2	55.9	7.16	26.5	D.L.	4.96	0.91	0.52	2.90	0.49	1.59	0.17	1.18	0.13
河北①畑	10.5	14.6	28.8	3.42	13.0	D.L.	2.43	0.38	0.27	1.93	0.33	1.20	0.11	0.89	0.12
河北②畑	23.0	30.8	65.8	7.76	28.9	D.L.	5.76	0.91	0.79	4.42	0.78	2.59	0.26	2.05	0.24
河北③畑	24.7	32.8	72.4	8.00	31.3	D.L.	5.86	0.93	0.81	4.83	0.83	2.83	0.29	2.14	0.26
岡山市南区畑	8.96	21.0	43.9	5.02	19.1	D.L.	3.33	0.61	0.34	1.91	0.30	0.99	0.06	0.73	0.07
岡山市南区水田	9.63	23.5	47.1	5.74	21.3	D.L.	3.76	0.67	0.37	1.98	0.33	1.04	0.09	0.79	0.09
岡山市東区畑	12.0	26.0	52.7	6.31	23.8	D.L.	4.21	0.76	0.45	2.45	0.40	1.31	0.11	0.90	0.10

今回測定した元素の内、岡山南区の畑、水田が最も高い値を示した元素はLi、Be、Al、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Rb、Cd、Cs、Bi、Uであった。この理由として、この地域が干拓地であり、江戸時代に海を堤防で閉め切って排水し陸地化していることより、海塩成分の影響があるものと考えられる。中国の浙江省畑と遼寧省畑の土壌はほとんどの元素で最も低い値であった。特にBe、Cr、Ga、Ag、Cd、In、Cs、Tl、Pb、Bi、Uでは検出限界以下であった。

土壌中希土類元素濃度を表2に示した。希土類元素の内、いずれの元素とも河北省の土③で最も高い値を示し、遼寧省畑で最も低い値を示した。その差は元素により異なるが、数倍から数十倍となった。日本と中国を比較すると各元素の大きな差異は見られなかった。

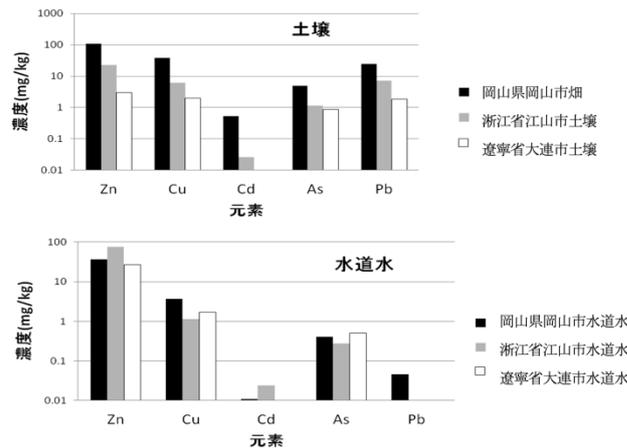


図 5 土壌及び水道水中元素濃度

土壌中元素濃度を図5(上)に示した。いずれの元素も岡山市の土壌で高く、浙江省のCu:6.1、Zn:4.9、As:4.2、Pb:3.6倍となった。この理由は明らかではないが、岡山市の近隣に工業地帯があることや、干拓地であることが関係していると考えられる。遼寧省のCd元素は検出されなかった。今回測定した土壌元素は中国の元素は日本の有害元素より低い濃度であった。

水道水中元素濃度を図5(下)に示した。Cu、Zn、Asは岡山市、浙江省江山市、遼寧省大連市ともに大きな差は見られなかった。Pbは岡山市で高い値を示した。これは岡山市の水道水の配管の一部に鉛管が使用されている可能性が考えられる。中国のZn、Cuの金属元素が高い原因は、水道水の配管が金属を使用していると考えられる。

3-4 土壌の水溶出係数

図6①に土壌元素の水溶出係数を示した。土壌の水溶出係数は土壌元素の水による溶出の難易を示す指標であり、以下の式で算出した⁹⁾。

$$\text{水溶出係数} = \frac{\text{土壌からの水溶出元素量 (mg/kg)}}{\text{土壌中の元素含有量 (mg/kg)}}$$

また水溶出係数は、土壌と土壌溶出液間における元素の分配係数のことであり水溶出係数の大きい元素はNa、Caであり、0.01以上であった。AlとFeは他の元素に比べて水溶出係数は0.0001~0.000001と小さく、土壌から水によって溶出しにくくなっている。この傾向は津村ら⁹⁾の報告と一致した。日本と中国の土壌の水溶出係数の値の顕著な差異は認められなかった。

図6②に土壌微量元素の水溶出係数を示した。微量元素の水溶出係数はいずれも小さく、そのほとんどが0.01~0.00001の範囲であった。Csの水溶出係数は他の元素より小さく、0.0001~0.000001であった。Li、B、Cr、Ni、Sr、Ba、Uは、日本と中国の水溶出係数に差が認められ、顕著に中国の土壌より日本の土壌で小さな値を示した。

図7に希土類元素の水溶出係数を示した。希土類元素の水溶出係数はいずれも小さく、0.0001~0.000001の範囲であった。またEu、Tb、Ho、Er、LuはICP-MSの検出限界以下であった。日本と中国の希土類元素の水溶出係数の値に、顕著な差異は認められなかった。

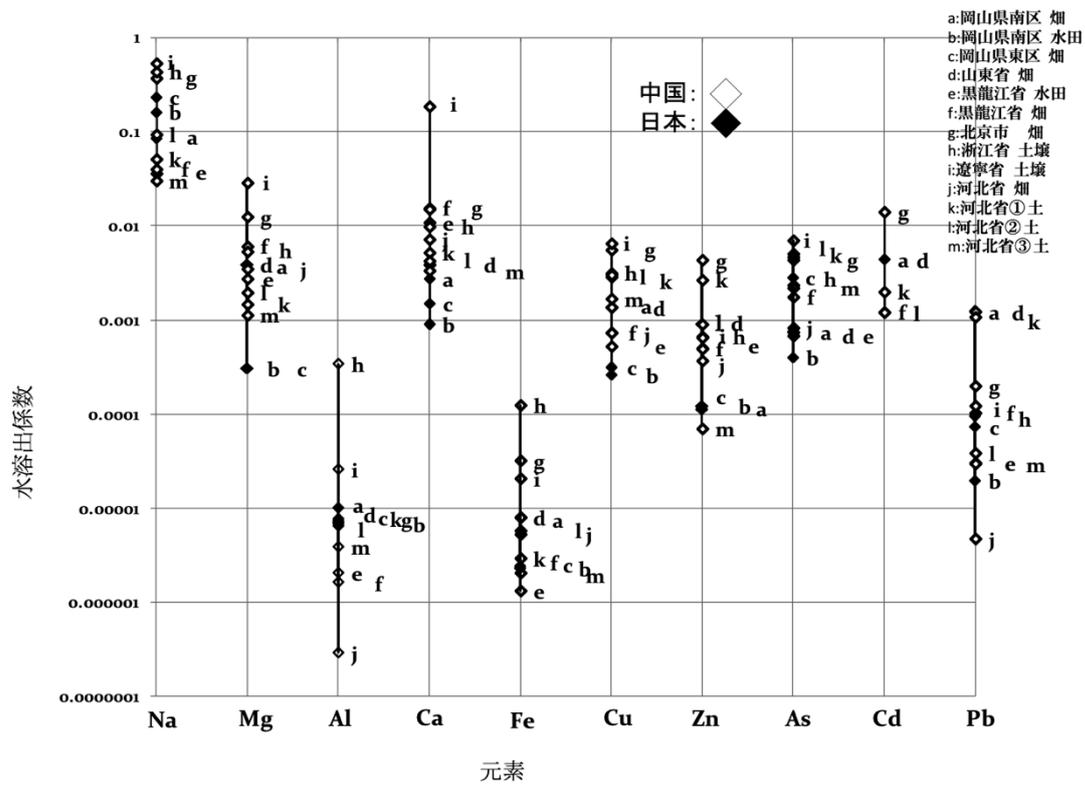


図 6 土壤の水溶出係数①

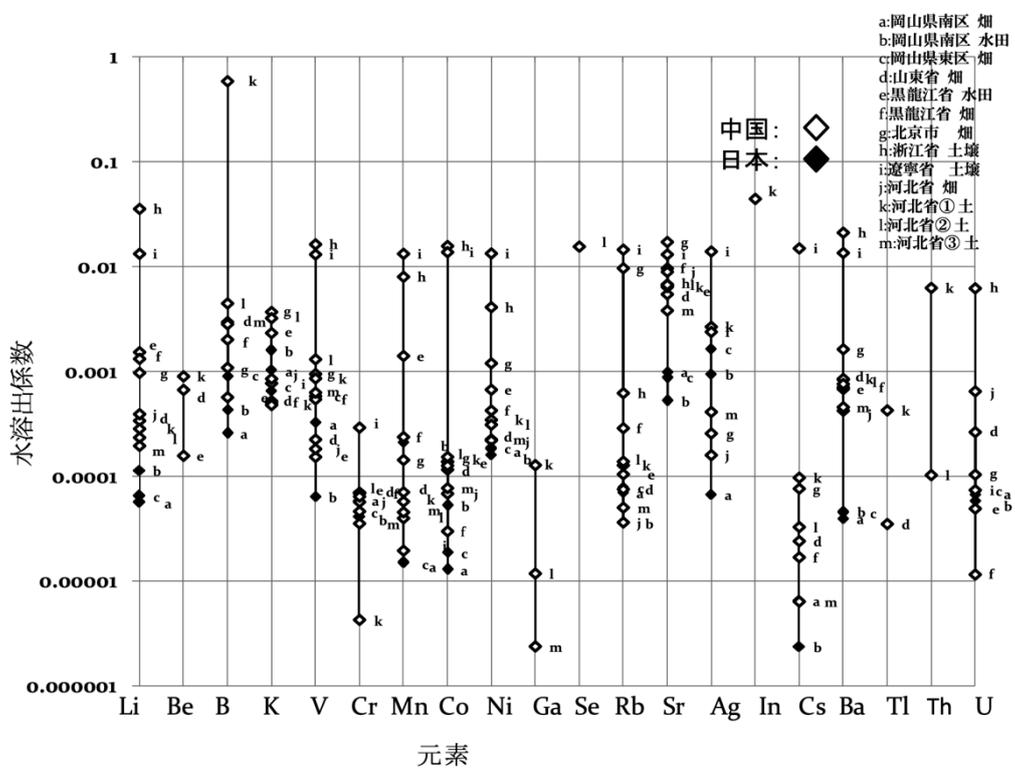


図 6 土壤の水溶出係数②

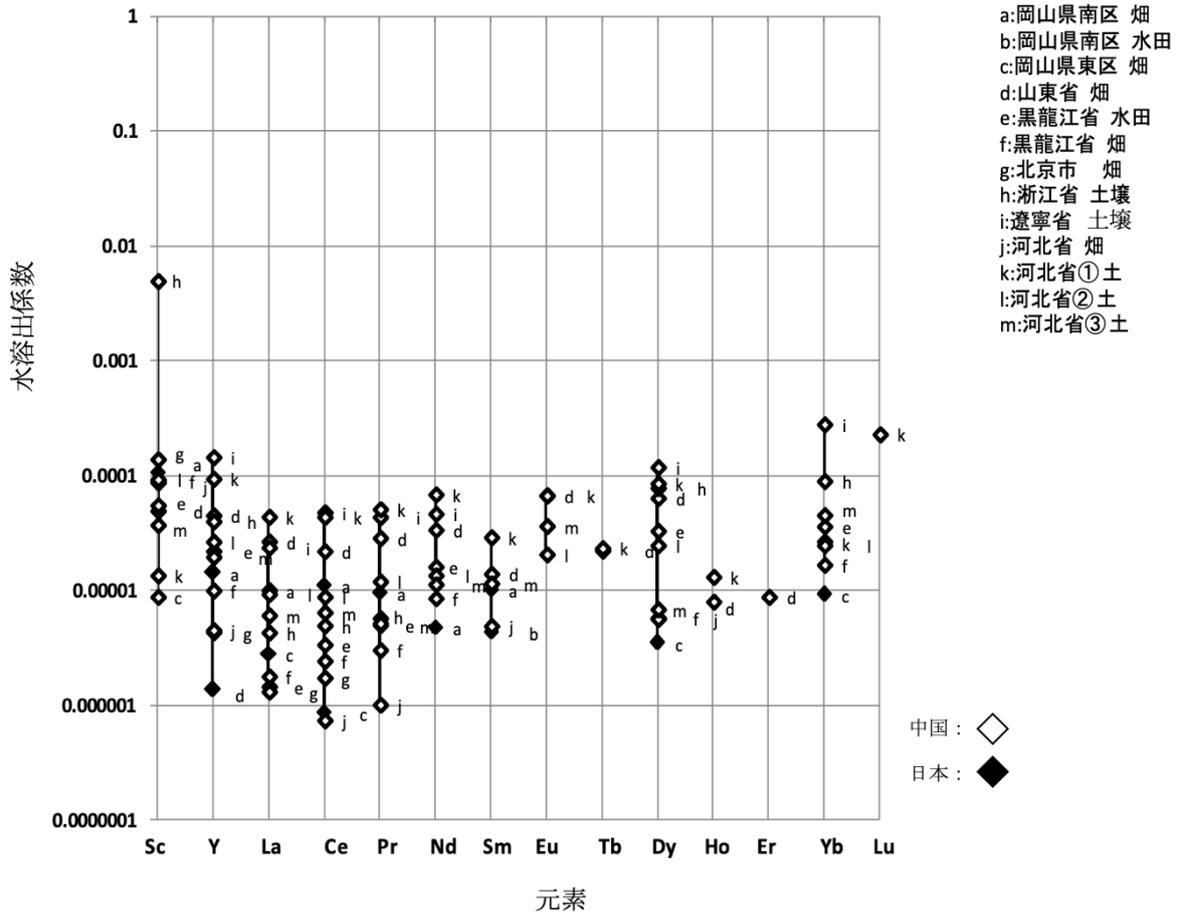


図 7 希土類元素の水溶出係数

3-5 コンドライト規格化希土元素パターン

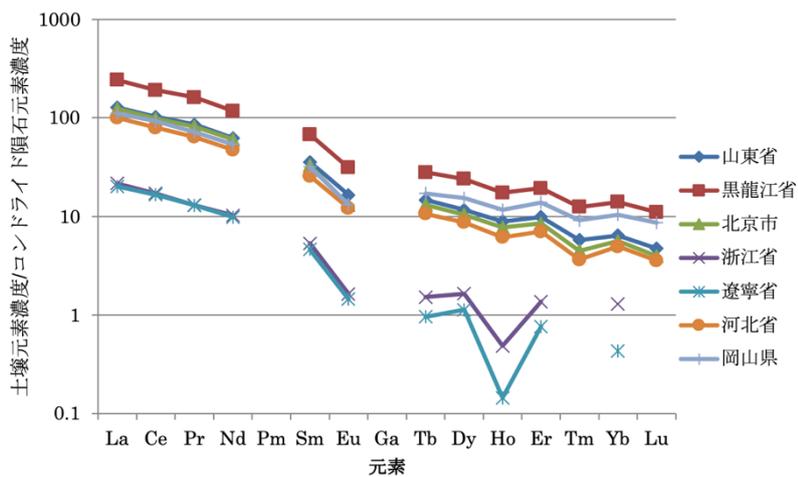


図 8 土壌のコンドライト規格化希土類元素パターン

図8に、土壌の希土類(La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu)元素のコンドライト規格化希土元素パターンを示した。希土類元素(REEs)については、生物に対する必須性(及び毒性)は認められておらず、必須元素と共に取り込んでいると考えられている。縦軸は、試料中の希土類元素の濃度をコンドライト

隕石の濃度で規格化した値であり、規格化に用いたコンドライト隕石中の希土類元素の存在度は増田の値¹⁰⁾を使用した。遼寧省と浙江省のコンドライト規格化希土類元素パターンは、他の地域のパターンと異なった。特に割合が他の地域のものよりも小さく、軽希土類元素で十分の程度に、高希土類元素のHoでは数十分の一であった。また土壌試料中のTm、LuはICP-MSの検出限界以下であった。

岡山市の土壌のコンドライト規格化希土類元素パターンは、山東省、黒龍江省、北京市、河北省と良く似たパターンを示した。軽希土類では割合が100程度であり、重希土類元素では10程度であった。希土類元素は一般に地球環境では主に3価の酸化物あるいはイオンとして存在している¹¹⁾。3価のイオンの電子配置は内殻の4f軌道を除き全て等しいために、希土類元素の化学的性質は互いに類似しているが、イオン半径や錯生成定数などが原子番号の増加に伴い規則正しく変化しているため、自然界において個々の希土類元素の地球化学的挙動はわずかながら異なり、こうした性質が地球化学的過程の研究のトレーサーとして役立つ¹²⁻¹³⁾。増田によって提唱された希土類元素パターン¹⁴⁾は、試料のおかれていた生成環境、履歴や分別過程に関する知見¹⁵⁻¹⁶⁾が得られる。

4. まとめ

土壌及び水道水中元素濃度をICP-MSにより元素分析を行った。また土壌の水溶出液のpH及びTOCを測定した。

1. 土壌の水溶出液のpHは5~8.5で、黒龍江省の水田の土壌で最も低くなった。北京市畑や山東省ではpH 8以上であった。
2. 土壌にわずかなHNO₃を添加することで溶出液のpHは低下し、遼寧省や浙江省の土壌で低下の度合いが大きかった。
3. 土壌中元素濃度はAl、Fe、Caで1 g/kg~数十 g/kgの範囲であり、地域によって大きく濃度が異なった。岡山市南区の畑、水田ともに中国のものよりも高い元素が多く見られた。
4. 土壌の水溶出係数を以下の式により算出した。その結果、Na、Caで0.01以上であり、Al、Feは0.001~0.000001と小さく、土壌から水に溶出しにくい元素であった。

水溶出係数 = 土壌からの水溶出元素量(mg/kg) / 土壌中の元素含有量(mg/kg)

5. 土壌の希土類元素パターン(土壌希土類元素濃度/コンドライト隕石元素濃度)は、遼寧省と浙江省の土壌が他の土壌と異なった。岡山市の土壌のパターンは山東省、黒龍江省、北京市、河北省のものと良く似たパターンであった。

参考文献

- 1) 高橋ゆかり、小林剛、亀屋隆志、上田裕之、汚染土壌の有害無機汚染質溶出試験結果の変動要因となりうる土壌pH影響の解析、環境情報科学、学術研究論文集、26、2012
- 2) 狩野直樹、青柳良隆、松井健太郎、今泉洋、誘導結合プラズマ質量分析法による新潟県近辺海域における海藻中の希土類元素の定量、環境科学、Vol.11、No.2、pp.221-231、2001
- 3) 前島勇治、川崎晃、鉛土壌および農産物汚染に関する最近の研究動向、日本土壌肥科学雑誌、第77巻、第1号、p.119-124、2006
- 4) 増島博、土壌汚染、図説環境科学、(社)環境情報科学センター編、朝倉書店、1994
- 5) 小野信一、農産物をめぐる重金属汚染の実態と動向、The actual conditions and trend on heavy metal contamination in agricultural produce、Vol35、No10、2006
- 6) 猶原 順、林 愿、中国および日本産農産物中元素濃度分析、岡山理科大学フロンティア理工学研究所研究報告、2、51-57 2020
- 7) 川瀬金次郎、中国の土壌と農地利用、農業土木学会誌、第49巻、第8号、1981
- 8) 佐々木朋三、田代純利、藤永英司、石井友章、軍司康義、土壌から農作物へのウラン、ラジウム及び鉛移行係数と線量評価、保健物理、37(3)、208-221、2002
- 9) 津村昭人、市橋秀樹、山崎慎一、高分解能誘導結合プラズマ質量分析法による土壌中のウランなど微量元素の水溶出係数の算定、RADIOISOTOPES、46、230-238、1997
- 10) 増田彰正、希土類元素からみた火成岩の多様性、p244、「〈岩波講座地球科学 4 地球物質科学III〉岩石・鉱物の地球化学」松井義人、坂野昇平編、岩波書、東京、1979
- 11) 足立吟也、希土類元素とは、pp7-10、「希土類の科学」、足立吟也編著、化学同人、京都、1999
- 12) 赤木右、付鳳富、希土類元素プローブの生物圏への展開、ぶんせき、8、453-459、2000
- 13) 張勁、希土類元素の海洋地球化学、月刊海洋、30(1)、12-19、1998
- 14) Masuda, A., Regularities in variation of relative abundances of lanthanide elements and an attempt to analyze separation index patterns of some minerals, J. Earth Sci., Nagoya Univ., 10, 173-187, 1962
- 15) 赤木右、増田彰正、地球環境の希土類元素、pp183-197、「微量元素・化学物質と農業生態系」、農林水産省農業環境技術研究所編、養賢堂、東京、1991
- 16) 内田滋夫・鎌田博・横須賀節子・大桃洋一郎、保健物理、22、511 - 522、1987

Elemental analysis of soil and environmental water in agricultural production areas in China

Jun NAOHARA and Yuan LIN

*Graduate School of Engineering, Okayama University of Science,
1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan*

(Received October 28, 2021; accepted December 9, 2021)

Elemental concentrations in soil and tap water were analysed by ICP-MS. The pH and TOC of the soil water leachate were also measured.

1. The pH of soil aqueous leachate ranged from 5 to 8.5 and was lowest in Heilongjiang paddy field soil. In the fields of Beijing and Shandong, the pH was above 8.
2. The addition of a small amount of HNO₃ to the soil reduced the pH of the leachate, with the reduction being greater in the soils of Liaoning and Jiangnan provinces.
3. Concentrations of Al, Fe and Ca in the soil ranged from 1 g/kg to several tens of g/kg, with significant regional variations. Many elements in the fields and paddy fields of Minami-ku, Okayama City were higher than those in China.
4. The water leaching coefficients of the soils were calculated by the following equation.

$$\text{Water leaching coefficient} = \frac{\text{amount of element leached from soil by water (mg/kg)}}{\text{content of element in soil (mg/kg)}}$$

As a result, Na and Ca were more than 0.01, and Al and Fe were small (0.001~0.000001), which means that the elements are not easily leached from soil to water.

5. The pattern of rare earth elements in soils (soil rare earth element concentrations / chondritic meteorite element concentrations) was different for the soils of Liaoning and Jiang provinces. Soil patterns in Okayama City were similar to those in Shandong, Heilongjiang, Beijing and Hebei provinces.

Keywords: ICP-MS; agricultural products; harmful elements; rare earth elements.