

（3）水道原水中のアミノ酸の存在実態

久本 祐資^{1*}・中村 怜奈²・小坂 浩司³・越後 信哉⁴・大河内 由美子⁴・
浅見 真理³・伊藤 禎彦⁴

¹京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1棟）

²横浜市水道局（〒240-0045 横浜市保土ヶ谷区川島町522）

³国立保健医療科学院生活環境研究部（〒351-0197 埼玉県和光市南2丁目3-6）

⁴京都大学大学院 地球環境学堂（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1棟）

* E-mail: hisamoto@urban.env.kyoto-u.ac.jp

アミノ酸は塩素処理によりトリハロメタンやハロ酢酸，トリクロラミン等を生成する。またアミノ酸は残留塩素濃度の維持や微生物再増殖の抑制等の観点からも，水質管理上重要とされている。そこで本研究では，全国15カ所の浄水場原水について，2010年秋季(9,10月)と2011年冬季(1月)に遊離アミノ酸と総アミノ酸の濃度に関する実態調査を行った。その結果，遊離アミノ酸と総アミノ酸の平均濃度は，秋季がそれぞれ0.106 μM ，4.01 μM であり，冬季がそれぞれ0.056 μM ，1.36 μM であった。検出された主な遊離アミノ酸はグリシン，セリン，アラニンであり，総アミノ酸ではこれらに加えて，アスパラギン酸，グルタミン酸が高頻度で検出された。

Key Words : free amino acids, total amino acids, total organic carbon, total organic nitrogen

1. はじめに

水道水の微生物学的安全性確保のために，我が国の浄水処理過程では塩素消毒が行われている。しかし，塩素消毒に由来する消毒副生成物やカルキ臭が水道水の化学的安全性や快適性を低下させているのも事実である。

溶存有機物を構成する化合物のうち，重要と考えられる物質群がアミノ酸である。アミノ酸は原水中に広く存在し，浄水処理プロセス中にも残存する¹²⁾。アミノ酸は塩素処理により，水道水質基準で規制されているトリハロメタンやハロ酢酸など，毒性のある消毒副生成物に変換される³⁾。またアミノ酸と塩素の反応により，カルキ臭原因物質といわれているトリクロラミンが生成される⁴⁾。さらに，特定のアミノ酸の塩素処理により，臭気閾値の低いアルデヒドやクロロアルドイミンも生成される⁴⁶⁾。あわせて，遊離アミノ酸のカルキ臭生成能が他の含窒素化合物に比べて高いと報告されている⁷⁾。

カルキ臭や消毒副生成物といった，化学的な観点に加え，アミノ酸は塩素消費量が高く，生物分解性有機炭素の中でも生物分解性が特に高いことから，残留塩素濃度の維持や微生物再増殖の抑制の観点からも重要とされて

いる⁸⁾。

このように，水道水質管理上アミノ酸に対する関心は高まっており²³⁹⁾，海外では水道における存在実態について調査が行われている¹²¹⁰¹¹⁾。世界各地の川や湖でのアミノ酸濃度については調査事例があり，特にDotson²⁾は米国16浄水場原水のアミノ酸濃度や処理プロセスにおける挙動について詳細に調査している。しかし，国内の水道におけるアミノ酸の実態についての報告は極めて限定的であり，また国内の河川は国外と比べて親水性化合物の比率が高いなど水質が異なり，国外の報告とは異なる可能性がある。そこで本研究では，水道原水中のアミノ酸の存在量の把握を目的に全国規模の実態調査を行った。具体的には，全国15カ所の浄水場原水について，2010年秋季と2011年冬季に，17種の遊離アミノ酸と総アミノ酸の濃度に関する実態調査を行った。

2. 実験方法

(1) 対象物質と試薬

調査対象としたアミノ酸は，タンパク質を構成する20

種類の α -アミノ酸のうちアスパラギン、グルタミン、トリプトファン、システインを除く α -アミノ酸16種類と β -アラニンである(表-1)。4つのアミノ酸を除外した理由は、塩酸による加水分解によりアスパラギン、グルタミン、システインはそれぞれアスパラギン酸、グルタミン酸、シスチンに変換され、トリプトファンは酸化されてしまうためである。アミノ酸標準液には、アミノ酸混合標準液B型(和光純薬)およびAN-II型(和光純薬)を用いた。標準液希釈液には0.25 mol/L/Lクエン酸リチウム緩衝液(和光純薬、アミノ酸自動分析用)を用いた。水溶液の調製や希釈にはすべてMILLIPORE社製のMilli-Q Academic A10で精製した超純水を用いた。

(2) 調査方法と分析方法

全国15カ所の浄水場原水について2010年秋季(9,10月)、2011年冬季(1月)に1回ずつサンプリングを行い、遊離アミノ酸と総アミノ酸を測定した。浄水場原水は塩素等の浄水薬品添加前の流入水であり、着水井前後でサンプリングを行った。また浄水場の水源、水源の特徴を表-2に示す。遊離アミノ酸とは他の化合物と結合していないアミノ酸を指し、総アミノ酸とは遊離アミノ酸に加えてペプチド結合やタンパク質等のアミノ酸同士で結合したものや腐食物質等の他の物質と結合したものを構成しているアミノ酸の合計を指す。遊離アミノ酸については、前処理として試験管エバポレータ(TVE-1000, EYELA)で40℃にて、5倍に濃縮した。総アミノ酸については、前処理として6N塩酸で20時間、110℃で加水分解を行い、構成する遊離アミノ酸として測定を行った¹²⁾。遊離アミノ酸の濃度測定は高速液体クロマトグラフ(Prominence アミノ酸分析システム、島津製作所)を用いて、 α -フタルアルデヒドによるポストカラム誘導体化後、蛍光検出器(Prominence RF-10A_{XL}, 島津製作所)によって行った(表-3)。また、試料とアミノ酸標準液のアミノ酸を同条件で測定

できるように、つまり試料をアミノ酸標準液と同じpH 2.2で分析するため、2.5 mol/L/Lクエン酸リチウム緩衝液(pH 2.1)を調製し、試料0.9 mLに対して0.1 mL添加した。遊離アミノ酸の定量下限値は、秋季の調査ではグリシン、セリン、フェニルアラニン、 β -アラニンが $0.03 \mu\text{M}$ 、それ以外の遊離アミノ酸が $0.05 \mu\text{M}$ であった。冬季の調査

表-2 浄水場原水の特徴

コード	水源	水源の特徴
A	ダム	河川上流のダムから用水
B	河川	流域が水田及び住宅地帯。富栄養化湖沼からの流入
C	河川、ダム	地質特性(石灰岩)に由来して総硬度が高い
D	湖	富栄養化、人口増加に伴う水質汚濁
E	河川	河口部の停滞流や上流のダムによる藻類の発生
F	河川	集水域が大きく上流の影響を受けやすい
G	ダム	流域が国有林地帯
H	河川	上流にあり比較的濁浄で水量に恵まれている
I	河川	富栄養化、農業、生活排水の流入
J	河川	流域が日本有数の穀倉地帯、取水地点が堰下流
K	ダム	多目的ダム、富栄養化
L	河川	流域が都市圏
M	河川	流域の水質保全により比較的良好な水質
N	河川	流域に工場地帯が数箇所あり
O	河川	住宅や工場地帯が少なく人為的要因は少ない

表-3 アミノ酸分析条件

システム	SHIMADZU CBM-20A		
グラジエント	LC-20AB		
送液システム			
溶離液	A液	0.15 Nクエン酸リチウム(pH2.6)	(7%メチルセロソルブを含む)
	B液	0.30 Nクエン酸リチウム	
		0.20 Mほう酸(pH10.0)	
	C液	0.20 M水酸化リチウム	
緩衝液	炭酸-ほう酸緩衝液(pH10.0)		
	0.0025%次亜塩素酸ナトリウム		
OPA試薬液	0.08% α -フタルアルデヒド		
	1.40%メタノール		
	0.04%ポリオキシ		
	エチレンウリルエーテル		
	0.10% <i>N</i> -アセチル-L-システイン		
	炭酸-ほう酸緩衝液(pH10.0)		
分析カラム	Shim-Pack AMINO LI		
アンモニア	Shim-Pack ISC-30		
トラップカラム			
検出器	蛍光検出器RF-10A		
測定波長	励起波長	350 nm	
	蛍光波長	450 nm	
流量	溶離液	0.6 mL/min	
	反応試薬	0.2 mL/min	
カラム恒温槽温度	39℃		
測定時間	163 min		

表-1 対象としたアミノ酸

対象物質	略号	分子量	特徴
グリシン	Gly	75.1	最も単純な構造
アラニン	Ala	89.1	側鎖にアルキル基
バリン	Val	117.2	側鎖にアルキル基
ロイシン	Leu	131.2	側鎖にアルキル基
イソロイシン	Ile	131.2	側鎖にアルキル基
メチオニン	Met	149.2	硫黄原子をもつ
セリン	Ser	105.1	側鎖にヒドロキシ基
トレオニン	Thr	119.1	側鎖にヒドロキシ基
アスパラギン酸	Asp	133.1	酸性アミノ酸
グルタミン酸	Glu	147.1	酸性アミノ酸
プロリン	Pro	115.1	環状第2級アミノ酸
フェニルアラニン	Phe	165.2	芳香族アミノ酸
チロシン	Tyr	181.2	芳香族アミノ酸
リシン	Lys	146.2	塩基性アミノ酸
ヒスチジン	His	155.2	塩基性アミノ酸
アルギニン	Arg	174.2	塩基性アミノ酸
β -アラニン	β -Ala	89.1	β -アミノ酸

ではサンプル注入量を10 μ Lから20 μ Lに変更したところ、グリシン、セリン、フェニルアラニン、 β -アラニン、ヒスチジンが0.02 μ M、プロリンが0.05 μ M、それ以外の遊離アミノ酸が0.03 μ Mとなった。定量下限値はノイズに対するシグナル比を3-4として求めた。全有機炭素(TOC)の測定にはTOC計(TOC-V CPH, 島津製作所)を用いた。全有機窒素(TON)については全窒素(TN)と硝酸イオン、亜硝酸イオンおよびアンモニアの合計との差により求めた。全窒素にはTN計(TNM-1, 島津製作所)、硝酸イオンと亜硝酸イオンはイオンクロマトグラフィー(DX500, ダイオネクス)、アンモニアはインドフェノール法により測定した。

(3) 塩素消費量、カルキ臭生成能への寄与率の推定方法

本調査に基づき、原水中のアミノ酸に由来する塩素消費量やカルキ臭生成能を推定した。さらに原水の塩素消費量については実際に測定した値を、原水のカルキ臭生成能については文献値を、それぞれのアミノ酸に由来する推定値と比較した。推定方法は、(各アミノ酸の単位濃度あたりの塩素消費量またはカルキ臭生成能) $\times$ (各アミノ酸濃度)の合計である。各アミノ酸の単位濃度あたりの塩素消費量については小坂ら¹³⁾、カルキ臭生成能については久本ら⁷⁾の値を用いた。塩素消費量とは、反応時間24時間、24時間後の遊離残留塩素濃度1 mg-Cl₂/Lでの塩素注入率と遊離残留塩素濃度の差であり¹³⁾、カルキ臭生成能とは、反応時間24時間、24時間後の遊離残留塩素濃度1 mg-Cl₂/L、pH 7.0でのカルキ臭生成量(臭気強度)である⁷⁾。

3. 実験結果と考察

(1) 遊離アミノ酸と総アミノ酸の濃度

秋季調査時の各浄水場原水の遊離アミノ酸、総アミノ酸の濃度をそれぞれ図-1、図-2に示す。遊離アミノ酸、総アミノ酸の濃度はそれぞれ0.006-0.240 μ M、1.17-13.55 μ Mの範囲であり、平均濃度はそれぞれ0.106 μ M、4.01 μ Mであった。また遊離アミノ酸と総アミノ酸の濃度に関係はなかった(相関係数 $r=0.02$, $n=15$ のとき $r_{0.05}=0.514$)。

次に、冬季調査時の各浄水場原水の遊離アミノ酸、総アミノ酸の濃度を図-3、図-4に示す。遊離アミノ酸、総アミノ酸の濃度はそれぞれ0.004-0.180 μ M、0.10-6.54 μ Mの範囲であり、平均濃度はそれぞれ0.056 μ M、1.36 μ Mであった。また秋季と同様、遊離アミノ酸と総アミノ酸の濃度に関係は見られなかった(相関係数: 0.29)。理由として、タンパク質が分解するにしても滞留時間が水源により異なることや人為起源の差などが考えられる。

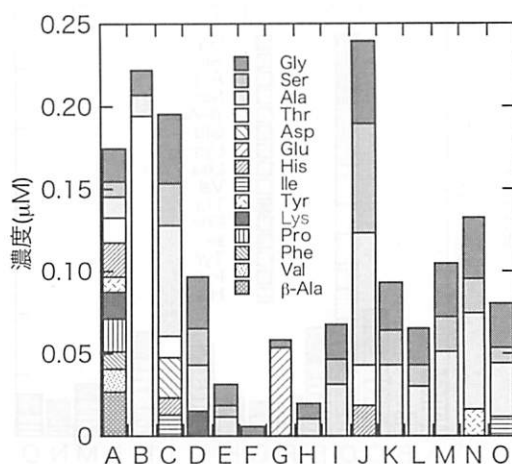


図-1 遊離アミノ酸濃度(秋季)

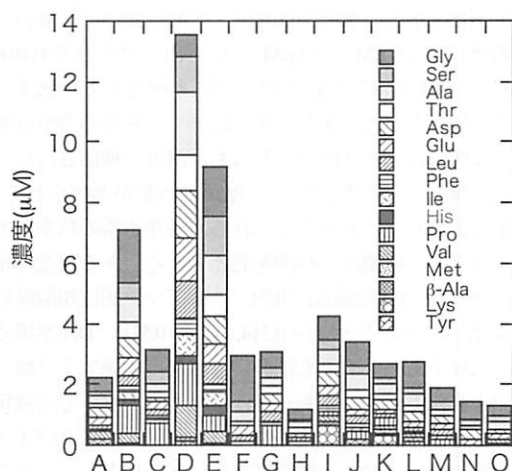


図-2 総アミノ酸濃度(秋季)

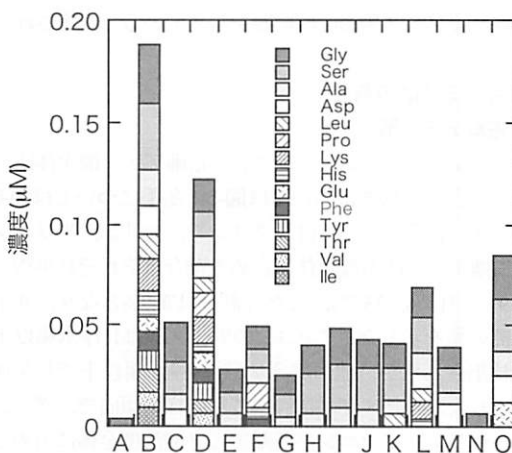


図-3 遊離アミノ酸濃度(冬季)

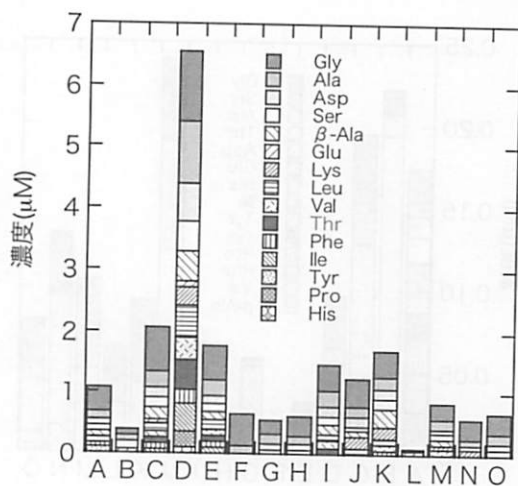


図4 総アミノ酸濃度(冬季)

米国16浄水場原水では遊離アミノ酸と総アミノ酸の平均濃度は0.0377 μM , 2.3 μM , レナ川ではそれぞれ0.06 μM , 3.5 μM と報告されており²¹⁾, 本研究の方が秋季では高い値となった。また冬季に比べて, 秋季の方が遊離アミノ酸, 総アミノ酸のどちらも高濃度で検出された。アミノ酸の一つの起源として藻類の活動があげられ⁹⁾, 水温の影響を受けたと考えられる。各浄水場の秋季と冬季で総アミノ酸濃度の相関を見たところ, ある程度の相関が見られた(相関係数 r_s : 0.79, スピアマン順位相関係数 r_s : 0.42, $n=15$ のとき $r_{0.05}=0.514$, $r_{0.01}=0.521$)。D浄水場原水では秋季と冬季ともに非常に高濃度の総アミノ酸が検出され, 湖が水源であった。また上流のダムでの藻類の発生が原水に悪影響を及ぼしていると考えられるE浄水場原水では総アミノ酸濃度が高い傾向にあった。さらに秋季では, 富栄養化湖沼から流入している河川を原水としているB浄水場でも総アミノ酸濃度が高く, 藻類の活性が総アミノ酸濃度に影響を与えていると推定された。

(2) 各アミノ酸の割合

a) 遊離アミノ酸

グリシン, セリン, アラニンが遊離アミノ酸全体に占める割合を, 秋季については図-5, 冬季については図-6に示す。秋季については, グリシン, セリン, アラニン, が遊離アミノ酸濃度全体に占める割合はそれぞれ平均で31.9%, 31.3%, 13.7%, また合計では76.9%となり, 非常に高い値を示した。この3つのアミノ酸は11浄水場以上で検出されたが, 他のアミノ酸は4浄水場以下でしか検出されなかった。冬季についても同様の傾向で, グリシン, セリン, アラニンが遊離アミノ酸濃度全体に占める割合はそれぞれ平均で37.9%, 28.3%, 14.1%, また合計では80.3%となり非常に高い値を示した。またアスパラギン酸が6浄水場で検出され平均5.5%を示したが, 秋季

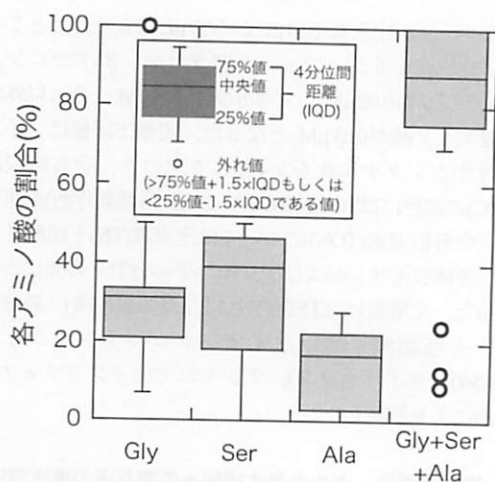


図5 遊離アミノ酸における各アミノ酸の割合(秋季)

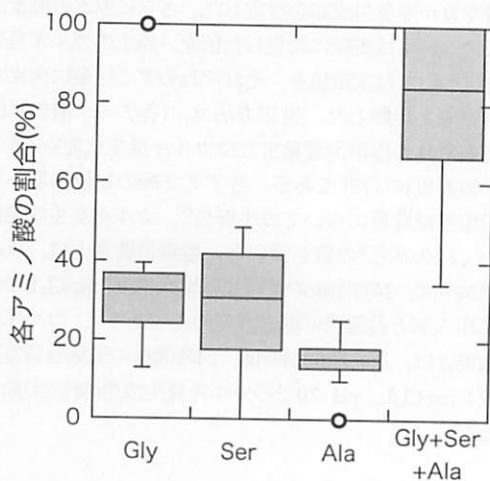


図6 遊離アミノ酸における各アミノ酸の割合(冬季)

と同様, 他のアミノ酸は4浄水場以下でしか検出されなかった。秋季と冬季のどちらもグリシン, セリン, アラニンが主な遊離アミノ酸であり, 米国16浄水場原水のアミノ酸濃度を測定した結果²⁾と一致しているが, 本調査結果の方が3つのアミノ酸の合計の割合が非常に高い値を示した。コロラド川ではアルギニンやプロリンも多く検出される例もあり¹⁰⁾, 国外とは異なる傾向も認められた。

b) 総アミノ酸

各アミノ酸が総アミノ酸全体に占める割合を, 秋季については図-7, 冬季については図-8に示す。秋季については, グリシン, アラニン, アスパラギン酸, セリン, グルタミン酸, プロリン, ロイシン, トレオニン, バリン, フェニルアラニンが半分以上の浄水場で検出され, グリシン, アラニン, セリン, グルタミン酸は全浄水場で検出された。割合の高いアミノ酸はグリシン(24.4%),

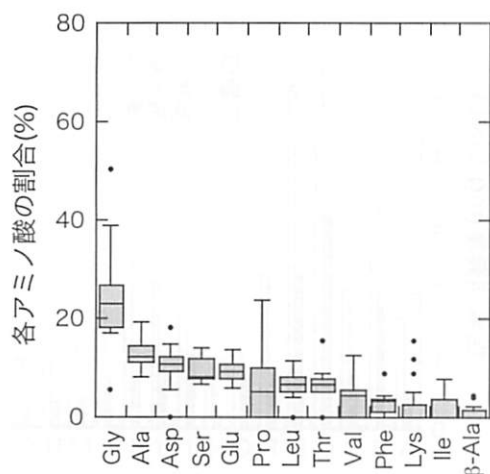


図-7 総アミノ酸における各アミノ酸の割合(秋季)
(横軸には平均値の高い順にアミノ酸が並んでいる)

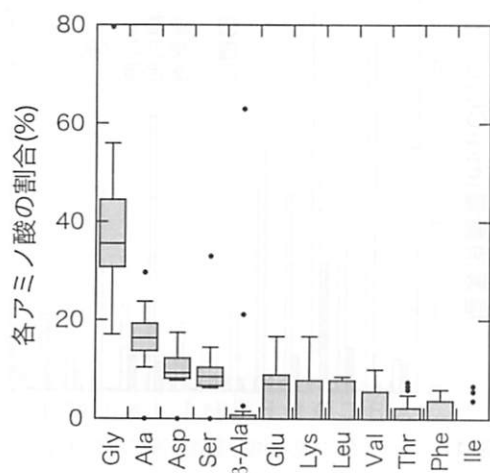


図-8 総アミノ酸における各アミノ酸の割合(冬季)
(横軸には平均値の高い順にアミノ酸が並んでいる)

アラニン(12.9%), アスパラギン酸(10.0%), セリン(9.6%), グルタミン酸(9.4%)であった(括弧の中の数値は15浄水場の平均値, 冬季も同様)。冬季については, グリシン, アラニン, アスパラギン酸, セリン, グルタミン酸の5つのアミノ酸しか半分以上の浄水場で検出されなかった。割合の高いアミノ酸は, グリシン(39.0%), アラニン(16.3%), アスパラギン酸(9.3%), セリン(9.1%)であり, 特にグリシンが高い値を示した。この4つのアミノ酸の合計は73.7%となり大きな割合を占めた。遊離アミノ酸に比べると, 多様なアミノ酸が検出されたが, 総じてグリシン, アラニン, アスパラギン酸, セリン, グルタミン酸の検出頻度が高く, 国外の報告^{12,11)}と概ね一致する結果となった。これらのアミノ酸の具体的な由来は現段階

では不明であるが, いずれも非必須アミノ酸であり, グリシンは細胞内で最も多く含まれている¹⁴⁾ことから細胞内での比率をある程度反映していると推定される。

(3) 総アミノ酸と全有機炭素および全有機窒素の関係

総アミノ酸中炭素が全有機炭素に占める割合および総アミノ酸中窒素が全有機窒素に占める割合を図-9に示す。総アミノ酸中炭素が全有機炭素に占める割合は, 秋季では平均11%であり, 冬季では平均5.6%であった。総アミノ酸中窒素が全有機窒素に占める割合は, 秋季では平均39%, 冬季では平均30%であった。米国16浄水場原水では総アミノ酸中炭素が全有機炭素に占める割合は平均3.5%, 総アミノ酸中窒素が全有機窒素に占める割合は平均15%²⁾, レナ川では平均28%と報告されており¹⁰⁾, 今回の調査結果の方が高かった。さらに世界各地のアミノ酸濃度をまとめたThuman¹⁾の報告では, 総アミノ酸中炭素が全有機炭素に占める割合は河川によって様々であるが, 平均2.6%であり, 今回の調査結果の方が高い値となった。つまり, 国外よりも相対的にアミノ酸が水道水質管理上重要な物質群だといえる。

総アミノ酸と全有機炭素の関係は秋季では相関が見られたものの(相関係数 r : 0.84, スピアマン順位相関係数 r_s : 0.70, $n=15$ のとき $r_{0.05}=0.514$, $r_{0.05}=0.521$), 冬季では相関があまり見られなかった(相関係数: 0.76, スピアマン順位相関係数: -0.04)。総アミノ酸と全有機窒素の関係も同様に, 秋季では相関が見られたものの(相関係数: 0.89, スピアマン順位相関係数: 0.60), 冬季では相関があまり見られなかった(相関係数: 0.72, スピアマン順位相関係数: 0.05)。総アミノ酸と全有機炭素に相関がある程度であると報告されている¹⁾が, 冬季では相関が低かった。

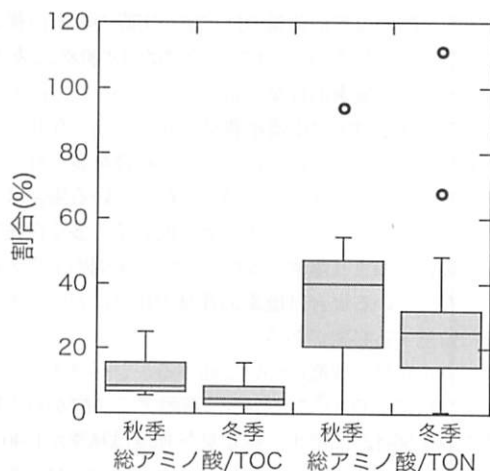


図-9 総アミノ酸がTOCおよびTONに占める割合

(4) アミノ酸の塩素消費量、カルキ臭生成能への寄与率の推定

まず塩素消費量について述べる。遊離アミノ酸からの推定値、総アミノ酸からの推定値、実際の塩素消費量の測定値について、秋季の結果を図-10、冬季の結果を図-11に示す。遊離アミノ酸については、秋季が0.002-0.063 mg-Cl₂/L、冬季が0.001-0.052 mg-Cl₂/Lの範囲であり、平均はそれぞれ0.028 mg-Cl₂/L、0.015 mg-Cl₂/Lであった。総アミノ酸については、秋季が0.29-3.20 mg-Cl₂/L、冬季が0.023-1.60 mg-Cl₂/Lの範囲であり、平均はそれぞれ1.0 mg-Cl₂/L、0.35 mg-Cl₂/Lであった。測定値については、秋季が0.78-5.99 mg-Cl₂/L、冬季が0.40-4.99 mg-Cl₂/Lの範囲であり、平均はそれぞれ2.26 mg-Cl₂/L、1.96 mg-Cl₂/Lであった。総アミノ酸からの推定値は、ペプチド結合は塩素との反応性が低い⁷⁾ことを考慮すると過大評価であることに注意が必要である。逆に、海洋ではあるが、結合アミノ酸も大部分は低分子で存在していることも報告されており¹⁹⁾、遊離アミノ酸からの推定値は過小評価であるといえる。つまり、アミノ酸由来の塩素消費量について、総アミノ酸からの推定値は過大評価であり、遊離アミノ酸からの推定値は過小評価であることに留意する必要がある。実際の塩素消費量の測定値と総アミノ酸からの推定値を比較すると、秋季では強い相関が見られ(相関係数 r :0.96, スピアマン順位相関係数 r_s :0.89, $n=15$ のとき $r_{0.05}=0.514$, $r_{0.05}=0.521$)、総アミノ酸の塩素消費量の推定値が実際の塩素消費量に占める割合は28-64%の範囲であり、平均で44%であった。冬季では相関は見られず、総アミノ酸の塩素消費量の推定値が実際の塩素消費量に占める割合は0.9-85%の範囲であり、平均で18%であった。冬季にはアンモニアが増加する傾向があるなど塩素消費量の高い物質が秋季と冬季で異なっているためだと考えられる。遊離アミノ酸については相関が見られず、遊離アミノ酸の塩素消費量の推定値が実際の塩素消費量に占める割合は秋季が平均1.3%、冬季が平均0.8%であり、遊離アミノ酸の塩素消費量の寄与は小さかった。総アミノ酸からの推定値では塩素消費量は非常に高くなり、アミノ酸が塩素と反応しにくいペプチド結合を多く有したポリペプチドなどの高分子で多く存在している場合は寄与は大きくないが、ジペプチド等の低分子で多く存在している場合、つまり塩素と反応しやすい末端のアミノ基を多く有している場合は塩素消費量の観点においてアミノ酸に留意する必要がある。

次にカルキ臭生成能について述べる。ジペプチドのカルキ臭生成能が低い⁷⁾ことから、遊離アミノ酸からの推定値のみを図-12に示す。推定臭気強度は秋季が1-40、冬季が1-43の範囲であり、平均はそれぞれ15、11であった。石原とPhattarapattamawongは淀川原水のカルキ臭生成

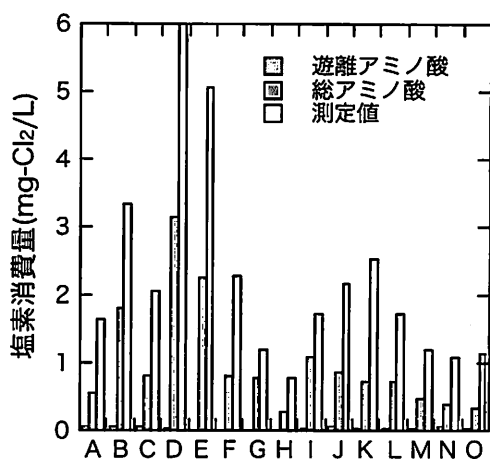


図-10 アミノ酸の塩素消費量推定値と測定値(秋季)

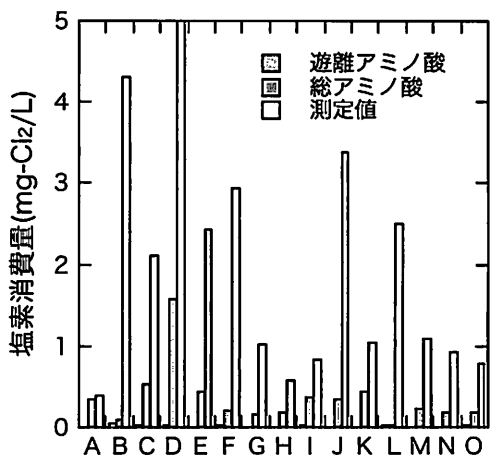


図-11 アミノ酸の塩素消費量推定値と測定値(冬季)

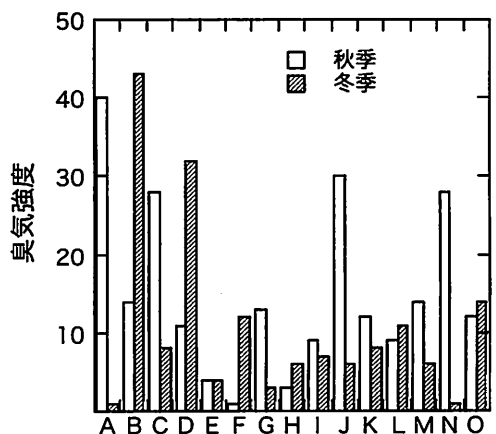


図-12 遊離アミノ酸のカルキ臭生成能推定値

能(反応時間24時間, 24時間後の遊離残留塩素濃度1 mg-Cl₂/Lでの臭気強度)を115程度と報告している^{16,17)}。推定値は115と比べて低く, 原水における遊離アミノ酸のカルキ臭への寄与は必ずしも高くはなかった。ただし, 浄水プロセスにおいて遊離アミノ酸は除去されにくい¹²⁾ことや増加するときもある¹²⁾ことを踏まえると, アミノ酸のプロセス中での挙動を把握する必要があると考えられる。

4. まとめ

以下に本研究で得られた知見をまとめる。

- (1) 秋季の調査では, 遊離アミノ酸濃度は0.006~0.240 μMの範囲であり, 平均濃度は0.106 μMであった。また総アミノ酸濃度は1.17~13.55 μMの範囲であり, 平均濃度は4.01 μMであった。
- (2) 冬季の調査では, 遊離アミノ酸濃度は0.004~0.188 μMの範囲であり, 平均濃度は0.056 μMであった。また総アミノ酸濃度は0.10~6.54 μMの範囲であり, 平均濃度は1.36 μMであった。
- (3) 主な遊離アミノ酸はグリシン, セリン, アラニンであった。総アミノ酸を構成する主なアミノ酸はこれらのアミノ酸に加えてアスパラギン酸, グルタミン酸が多く検出された。
- (4) 遊離アミノ酸濃度, 総アミノ酸濃度, 総アミノ酸中炭素が全有機炭素に占める割合, および総アミノ酸中窒素が全有機窒素に占める割合が国外に比べて高かった。
- (5) 総アミノ酸からの塩素消費量の推定値は高く, アミノ酸が低分子で存在している場合は, 塩素消費量の観点からアミノ酸の挙動について留意する必要がある。

謝辞：本研究は, 厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)「異臭被害原因物質の同定・評価及び浄水処理工程における挙動並びに低減化に関する研究」の一部として行った。調査に協力いただいた水道事業体に深く感謝する。

参考文献

- 1) Thurman, E. M. : Organic geochemistry of natural waters, Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, 1985.
- 2) Dotson, A. and Westerhoff, P. : Occurrence of amino acids during drinking water treatment, *J. Am. Water Works Assoc.*, Vol. 101, No. 9, pp. 101-113, 2009.
- 3) Hong, C. H., Wong, H. M. and Liang, Y. : Amino acids as precursors of trihalomethane and haloacetic acids formation during chlorination, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, Vol. 56, pp. 638-645, 2009.

- 4) Kajino, M., Morizane, K., Umetani, T. and Terashima, K. : Odors arising from ammonia and amino acids with chlorine during water treatment, *Water Sci. Technol.*, Vol. 40, No. 6, pp. 107-114, 1999.
- 5) Froese, K. L., Wolanski, A. and Hudey, S. E. : Factors governing odorous aldehyde formation as disinfection by-products in drinking water, *Water Res.*, Vol. 33, No. 6, pp. 1355-1364, 1999.
- 6) Freuze, I., Brosillon, S., Laplanche, A., Tozza, D. and Cavard, J. : Effect of chlorination on the formation of odorous disinfection by-products, *Water Res.*, Vol. 39, No. 12, pp. 2636-2642, 2005.
- 7) 久本祐資, 越後信哉, 伊藤禎彦, 大河内由美子, 小坂浩司 : 溶存有機物を構成する窒素化合物のカルキ臭生成能, 環境工学研究論文集, Vol. 47, pp. 99-108, 2010.
- 8) Prevost, M., Gauthier, C., Hureki, L., Desjardins, R. and Servais, P. : Removal of amino acids, biodegradable organic carbon and chlorine demand by biological filtration in cold water, *Environ. Technol.*, Vol. 19, pp. 903-911, 1998.
- 9) Brosillon, S., Lemasle, M., Renault, E., Tozza, D., Heim, V. and Laplanche, A. : Analysis and occurrence of odorous disinfection by-products from chlorination of amino acids in three different drinking water treatment plants and corresponding distribution networks, *Chemosphere*, Vol. 77, No. 8, pp. 1035-1042, 2009.
- 10) Russell Chinn and Sylvia E. Barrett : Occurrence of amino acids in two drinking water sources, *Am. Chem. Sci.*, pp. 97-108, 1999.
- 11) Ruben J. Lara, Volker Rachold, Gerhard Kattner, Hans W. Huberten, Georg Guggenberger, Annelie Skoog and David N. Thomas : Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic : Characteristics and distribution, *Mar. Chem.*, Vol. 59, pp. 301-309, 1998.
- 12) 石川卓 : 浄水中の同化可能有機炭素を基質とする微生物増殖に対して残留塩素濃度低減が与える影響, 京都大学大学院工学研究科修士論文, 2009.
- 13) 小坂浩司, 鈴木恭子, 伊藤貴史, 越後信哉, 浅見真理, 秋葉道宏 : アミノ酸の塩素処理によるトリクロロアミン生成特性, 環境工学研究論文集, Vol. 47, pp. 93-98, 2010.
- 14) Scully, F. E., Howell, G. D., Penn, H. H. and Mazina, K. : Small molecular-weight organic amino nitrogen-compounds in treated municipal waste-water, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 22, pp. 1186-1190, 1988.
- 15) 田上英一郎 : 海洋におけるアミノ酸・タンパク質の起源とその動態に関する研究, *Res. Org. Geochem.*, Vol. 20, pp. 1-6, 2005.
- 16) 石原哲志, 越後信哉, 伊藤禎彦 : オゾン・紫外線処理とイオン交換処理によるカルキ臭の制御, 日本水環境学会年會講演集, Vol. 45, p. 385, 2011.
- 17) Phattarapattamawong, S., Echigo, S. and Itoh, S. : Simultaneous control of bromate ion and chlorinous odor in drinking water using an advanced oxidation process (O₃/H₂O₂), *Ozone : Sci. Eng.*, Vol. 33, No. 2, pp. 136-142, 2009.

(2011.5.30 受付)

Survey on the Concentration of Amino Acids in Source Water

Yusuke HISAMOTO¹, Reina NAKAMURA², Koji KOSAKA³, Shinya ECHIGO⁴,
Yumiko OHKOUCHI⁴, Mari ASAMI³ and Sadahiko ITOH⁴

¹Dept. of Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

²Yokohama Waterworks Bureau

³Dept. of Environmental Health, National Institute of Public Health

⁴Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

Disinfection byproducts such as trihalomethanes, haloacetic acids and trichloramine are produced from amino acids during chlorination. Amino acids are important in water quality management as control of residual chlorine concentration and bacterial regrowth. In this study, the concentration of free amino acids and total amino acids of 15 purification plant influent were measured in the fall of 2010 and the winter of 2011. The average concentration of free amino acids and total amino acids were 0.106 μM and 4.01 μM in fall, 0.056 μM and 1.36 μM in winter. In free amino acids, the most dominant amino acids species were glycine, serine and alanine. In total amino acids, the most dominant amino acids species were glycine, serine, alanine, asparagine acid and glutamine acid.