

地球環境の変化が河川水質に与える影響の基礎的検討

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
研究期間：平 19 年度～平 19 年度
担当チーム：水質チーム
研究担当者：鈴木穰

【要旨】水道統計等の水質データを元に、36 年間の期間における水質変化を調査し、河川表流水については、水温が気温の上昇とともに上昇傾向にあること、pH が近年顕著に上昇しており、硝酸性窒素の増加による光合成活発化の影響であると考えられること、鉄濃度が近年低下しているが、これは pH の上昇が原因であると考えられることが、また、深井戸水については、金属類溶解成分の濃度が顕著に増加していることが明らかとなった。さらに、得られた結果に基づき、今後の課題を整理した。

キーワード：地球環境、水質、変化、地球温暖化

1. はじめに

大気中の二酸化炭素濃度の上昇により、地球温暖化が懸念されているが、これらの変化は、降雨中の炭酸濃度や水温の変化を通して、地質からの溶脱速度に影響を与え、長期的に河川水質に影響することが想定される。また、大気を介した地球規模での汚染物質移動により、日本への汚濁負荷の増加も懸念される。

このため、地球環境の変化や地球規模での汚濁物移動が河川水質に与える影響を検討するとともに、地質特性に応じて生じうる課題をリストアップする必要がある。

2. 研究方法

水道統計の水質データを元に、水温、pH、硬度等の河川水質について、長期変化（36 年間）の傾向を調査した。具体的方法は、以下の通りである。

【用いた資料】

水道統計（(社)水道協会発行）の昭和 44 年度（1969 年度）版、昭和 62 年度（1987 年度）版、平成 17 年度（2005 年度）版^{1)～3)}。

【対象とした水の種類】

水道原水のうち、表流水（自流）と深井戸水。

ダムの影響が無視しうる表流水（自流）は、気候変化が河川水に与える影響を評価するのに適しており、また、深井戸水は年間の水質変動が少ないことから、地質からの溶出量の変化を把握するのに適していると考えられ、対象とした。

【対象水質項目】

水温、pH、硬度、蒸発残留物、硝酸性窒素濃度、鉄濃度、マンガン濃度、塩素イオン濃度、色度。

【対象とした水道原水の箇所】

昭和 44 年度から原則として年間 4 回以上の測定値があり、都市排水の影響を直接的に受けない箇所を選定した。この結果、調査対象とした水道原水は、表流水で 30 箇所、深井戸水で 8 箇所である（表-1、表-2）。

表-1 調査対象とした河川表流水

事業主体	浄水場番号_河川	事業主体	浄水場番号_河川
函館市	03_松倉川・汐泊川	甲府市	01_荒川
釧路市	01_釧路川	長野市	03_犀川
札幌市	01_豊平川	長野県	01_千曲川
苫小牧市	01_幌内川	愛知県	09_木曾川
青森市	01_横内川	大阪市	01_淀川
八戸市	01_馬淵川	神戸市	04_住吉川
花巻市	01_北上川・豊沢川	岡山市	01_三野
秋田市	01_雄物川	徳山市	02_東川
酒田市	01_最上川	鳴門市	01_旧吉野川
日上市	01_久慈川	高知市	01_鏡川
宇都宮市	01_大谷川	久留米市	01_筑後川
千葉県	02_江戸川	飯塚市	02_鯉田遠賀川
東京都	04_江戸川	大分市	01_大分川
東京都	08_利根・荒	宮崎市	01_大淀川
長岡市	03_信濃川	鹿児島市	15_甲突川

表-2 調査対象とした深井戸水

事業主体	浄水場番号_浄水場名	事業主体	浄水場番号_浄水場名
高崎市	08_中島	富田林市	01_甲田
武蔵野市	01_第一	明石市	02_魚住
静岡市	07_下島	大和郡山市	01_北郡山
豊田市	01_中切	熊本市	03_健軍

また、大気降水物が河川水の窒素やリン濃度に与える影響を検討するため、生活排水等の人為的汚濁負荷がほとんどない河川上流域の水質として、国土交通省河川局・ダム基本設計会議環境部会の環境レポートからダム流入水質データを収集し、長期変化の傾向を調査した。

さらに、今後予想される大気中の二酸化炭素濃度と気温から、河川水質の変化を予測した。

3. 研究結果

3.1 調査対象年の長期変化の中での位置付け

近年の年平均気温および年降水量の変化の傾向を図-1および図-2に示す。年平均気温については1.1°C/100年の割合で上昇しているが、年降水量については、長期的傾向は見られないものの、近年、変動が大きくなっている。

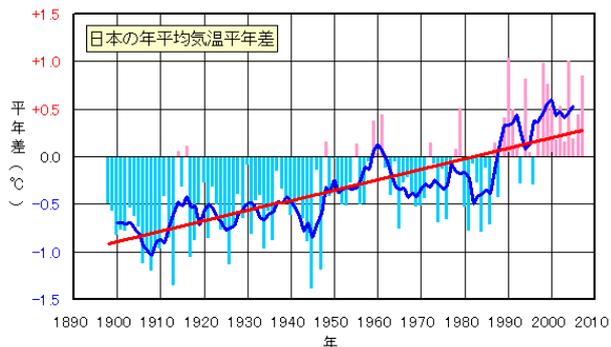


図-1 年平均気温の年平均差の長期変化⁴⁾
(平年値：1971～2000年の平均値)

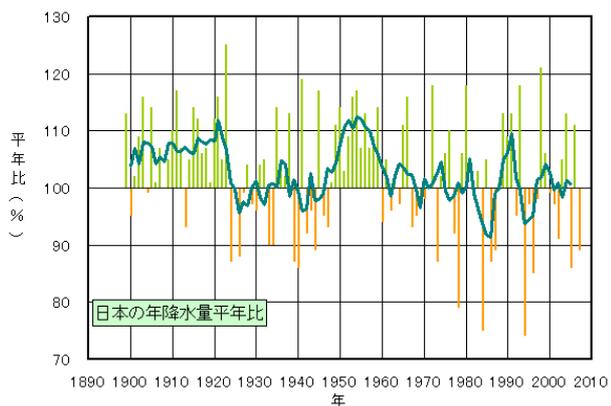


図-2 年降水量の年平均比の長期変化⁴⁾
(平年値：1971～2000年の平均値)

水道水質の調査対象とした1969年、1987年、2005年における年平均気温および年降水量は、平年に比べて表-3に示すとおりである。

気温については、1969年がやや低めではあるが、長

期変化のトレンドにほぼ沿う値となっており、降水量については、全般的に小雨傾向の年となっている。対象とした3カ年について、気象条件の顕著な偏りは認められなかったことから、この3カ年を調査対象とすることによって、地球環境の変化が河川水質に与える影響を評価することができると考えられる。

表-3 調査対象年の気温・降水量の平年との比較
(平年値：1971～2000年の平均値)

年	1969	1987	2005
気温の平年差 (°C)	-0.53	+0.14	+0.19
降水量の平年比 (%)	97	89	86

なお、対象年における大気中二酸化炭素濃度は、図-3から綾里(日本)における年平均値を読み取った(表-4)。なお、1969年については日本の観測データがないが、近年において綾里平均値とマウナロア(ハワイ)最高値がほぼ同じであるため、マウナロアの1969年最高値を日本の値として用いた。

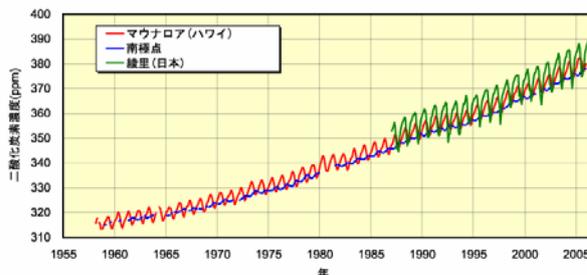


図-3 大気中二酸化炭素濃度の長期変化

表-4 調査対象年における大気中二酸化炭素濃度

年	1969	1987	2005
二酸化炭素濃度 (ppm)	328	352	383

3.2 河川表流水質の変化

1) 水温

河川表流水の水温(年平均値、年最大値、年最低値)を30箇所について平均した値について、経年変化を表-5に示す。

年平均水温は、気温の上昇傾向に伴って、上昇する傾向にある。なお、年最大水温については変化が見られず、年最低水温が上昇していることから、主に低水温域の水温上昇によって、年平均水温が上昇していると考えられる。

図-4に平均水温分布の経年変化を、図-5に1969年を基準とした場合の平均気温変化の分布を示す。

図-4から、平均水温は、低水温側の箇所数が減少し、高水温側の箇所数が増加していることがわかる。また、

平均水温の変化は、図-5 に示すように、1969年→1987年では+0.5℃（範囲としては+0～1℃）ほどにピークを有する分布となっており、それが、1969年→2005年では、幾分高い値側にずれた分布となっている。

表-5 河川表流水の水温（年平均、年最大、年最低）30箇所平均値の経年変化

年	1969	1987	2005
年平均水温(℃)	12.5	13.0	13.4
年最大水温(℃)	23.8	23.6	23.6
年最低水温(℃)	2.9	3.9	3.6

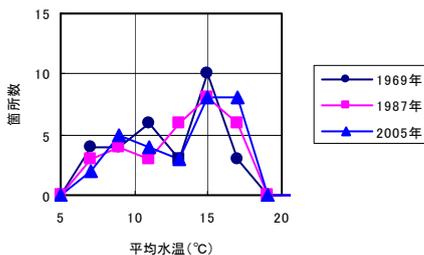


図-4 河川表流水の平均水温分布の経年変化

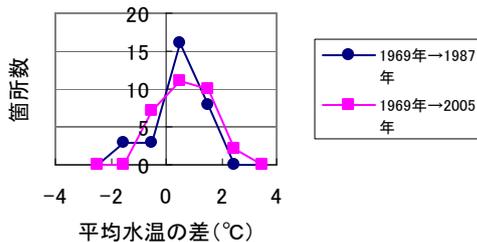


図-5 河川表流水の平均水温経年差の分布

2) pH、硬度、硝酸性窒素等

河川表流水の pH、硬度、硝酸性窒素濃度を 30 箇所について平均した値の経年変化を、表-6 に示す。pH および硝酸性窒素濃度は、経年的に着実に上昇しており、また、硬度についても上昇傾向が見られる。

表-6 河川表流水の pH、硬度、硝酸性窒素（30 箇所平均値）の経年変化

年	1969	1987	2005
pH	7.13	7.21	7.44
硬度(CaCO ₃ mg/L)	39.8	42.7	42.4
硝酸性窒素(mg/L)	0.51	0.64	0.86

より詳細に検討するため、都市排水の影響を比較的強く受けていると考えられる千葉県、東京都（2 河川）、大阪市の 4 河川、および、硬度が大きく他の河川と特

徴が異なると考えられる飯塚市の 1 河川を除外して、経年変化を再度検討した。

表-7 に、5 河川を除外して 25 河川について平均した pH、硬度、硝酸性窒素濃度、鉄濃度、マンガン濃度の経年変化を示す。また、図-6 に、1969 年を基準としてそれに対する各年の比を示す（ただし、pH については最低観測値：6.5 との差をそれぞれの値として設定）。

30 箇所平均と同様に、pH と硝酸性窒素濃度は着実に上昇しており、その一方で、pH が顕著に高くなった 2005 年において、鉄濃度の顕著な低下が見られる。マンガンについては大きな変化は見られない。

単純に考えると、二酸化炭素濃度の増加により水中の炭酸イオン濃度が増加して、pH が減少することが予想されるが、水道統計データからは逆の傾向が得られた。後述するが、深井戸水については、硝酸性窒素濃度の増加が見られても pH はほとんど変化していないことから、表流水における pH 上昇の原因として、藻類による光合成の活発化が考えられる。

表流水では、硝酸性窒素濃度の増加に加えて、水温も上昇しているため、河川内での光合成が活発化し、河川水内の炭酸水素イオンが水素イオンとともに藻類に摂取されて、pH 上昇を招いていると推察される。

表-7 河川表流水の pH、硬度、硝酸性窒素、鉄、マンガン（25 箇所（都市近郊等除外）平均値）の経年変化

年	1969	1987	2005
pH	7.15	7.22	7.42
硬度(CaCO ₃ mg/L)	33.5	35.6	36.6
硝酸性窒素(mg/L)	0.38	0.51	0.68
鉄(mg/L)	0.38	0.40	0.27
マンガン(mg/L)	-	0.028	0.024

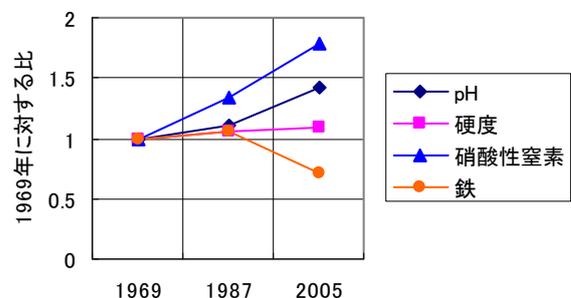


図-6 河川表流水質の 1969 年を基準とした変化

硝酸性窒素濃度および pH の河川表流水 25 箇所分布の経年変化をそれぞれ図-7 と図-8 に示す。両者の変化

の傾向は、大まかに見て似通っており、pH 変化の原因として硝酸性窒素濃度の上昇が考えられる。

また、pH 上昇は鉄(II)の溶存態濃度減少⁶⁾ および鉄(III)への酸化速度増加⁷⁾ と不溶化を引き起こすことから、2005年に低濃度側に移動した鉄濃度の分布(図-9)は、アルカリ側に傾いた pH の影響であると考えられる。

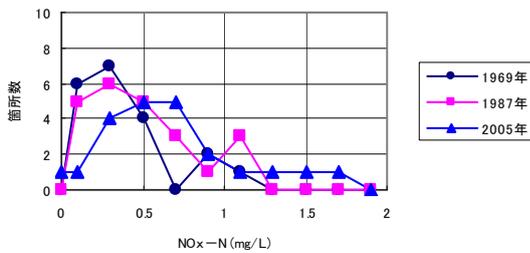


図-7 河川表流水の硝酸性窒素濃度分布の経年変化

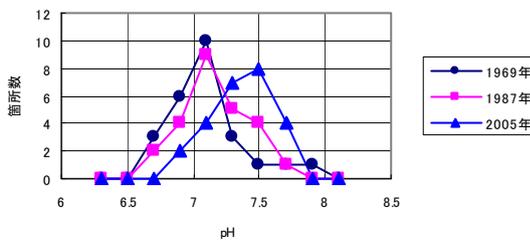


図-8 河川表流水の pH 分布の経年変化

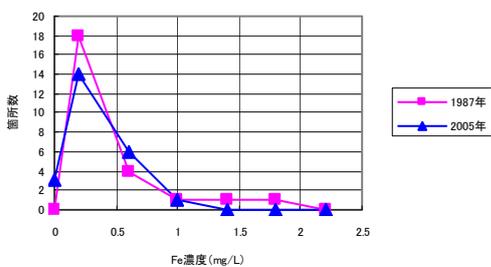


図-9 河川表流水の鉄濃度分布の経年変化

硬度の変化については、地域によって異なる傾向が見られたため、小林純著の「水の健康診断」においてケイ酸およびカリウム濃度の高い地域を火山岩主体の地域⁸⁾として選定し、水成岩主体の地域と区分して、硬度の変化を検討した。なお、火山岩主体として選定した箇所は、釧路市、宇都宮市、長岡市、久留米市、大分市、宮崎市、鹿児島市であり、また、長野市は硬度の変化が極めて大きかったため、対象から除外した。

その結果、表-8に示すように、火山岩地域では硬度

の増加が見られないのに対し、水成岩地域では硬度の増加が観察された。これは、水成岩中のカルシウム化合物等が、水中に増加した炭酸等により、より多く溶脱するようになったためと推察される。

表-8 地域ごとの河川表流水硬度の経年変化

年		1969	1987	2005
硬度 (CaCO ₃ mg/L)	水成岩地域	29.9	33.3	33.7
	火山岩地域	44.6	39.4	42

3.3 深井戸水質の変化

深井戸水質(8箇所平均値)の経年変化を表-9および図-10に示す。表流水と比較して傾向が異なるのは、pHに顕著な上昇が見られないこと、硝酸性窒素濃度の増加が近年より大きいこと、硬度・鉄・マンガン等の金属類溶解成分が顕著に増加していることである。鉄については、深井戸水のpHが酸性である場合、濃度比が3倍強と、さらに大きな増加を示した。

表-9 深井戸水の水質(8箇所平均値)の経年変化

年	1969	1987	2005
水温	17.0	17.8	17.6
pH	6.99	6.94	7.00
硬度(CaCO ₃ mg/L)	53.4	79.7	89.8
硝酸性窒素(mg/L)	-	0.53	1.02
鉄(mg/L)	0.38	0.78	0.91
マンガン(mg/L)	-	0.25	0.29

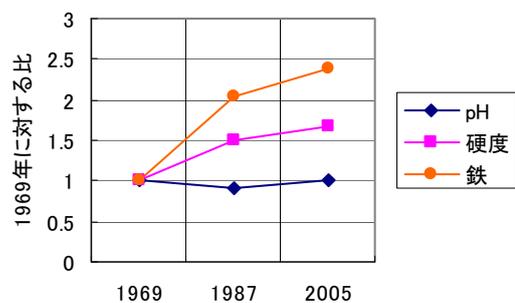


図-10 深井戸水質の1969年を基準とした変化

上記水質変化の原因として、金属類の溶脱を促進させる炭酸や硝酸性窒素の増加が考えられるが、それぞれの酸性物質の寄与度については、今後検討が必要である。

深井戸水における金属溶脱が進んでいる事実は、水成岩に含まれるヒ素等重金属の溶脱促進の可能性も指し示すものである。地下水の重金属汚染について、十分な注意が必要であると考えられる。

さらに、地下水が表流水に流出してくる地域においては、表流水の重金属濃度についても注意が必要である。鉄は、河川水の pH 上昇により濃度が低下しているが、ヒ素などの金属についてはアルカリ側で溶解度が高くなるものも存在することから、今後、河川水の重金属濃度が上昇する可能性もある。

3. 4 河川上流域における水質変化

国土交通省河川局・ダム基本設計会議環境部会の環境レポートのうち、現時点で入手可能な 10 ダムについて、生活排水等の人為的汚濁負荷がほとんどない河川上流域の水質データを検討したところ、表-10 のように、6 ダムにおいて長期的な硝酸性窒素濃度の増加が見られた。

表-7 に示す河川表流水の長期的変化において、硝酸性窒素濃度の平均的増加速度が 0.008mg/(L・年) であることから、河川上流域における硝酸性窒素濃度の増加速度は、これと同程度か大きいものがあることになる。このことは、河川表流水における硝酸性窒素濃度の増加が、農業で使用される窒素肥料といった人為的 direct 負荷だけによるのではなく、大気降下物由来の負荷の影響も無視できないことを示している。

表-10 河川上流域の硝酸性窒素濃度の変化

調査対象箇所	10
増加確認箇所	6
増加速度 (mgN/(L・年))	0.006～ 0.016

4. まとめと今後の課題

4. 1 まとめ

- 1) 河川表流水の平均水温は、気温の上昇傾向に伴って、上昇する傾向にある。なお、年最大水温については変化が見られず、年最低水温が上昇していることから、主に低水温域の水温上昇によって、年平均水温が上昇している。
- 2) 河川表流水の水質のうち、pH と硝酸性窒素濃度が顕著に上昇しており、硬度も上昇傾向にある。その一方で、pH が高くなった 2005 年において、鉄濃度の顕著な低下が見られる。
- 3) pH の上昇は、硝酸性窒素濃度の増加に伴う藻類光合成の活発化によると考えられる。また、pH 上昇により鉄の酸化等が促進され、鉄濃度が低下していると考えられる。
- 4) 硬度の上昇は水成岩地域で見られ、炭酸などの酸性物質によってカルシウム等溶脱が促進されたものと

考えられる。

- 5) 深井戸水においては、pH に顕著な変化はみられないものの、硝酸性窒素濃度や硬度・鉄・マンガン等の金属類溶解成分が顕著に増加している。この原因として、金属類の溶脱を促進させる炭酸や硝酸性窒素の増加が考えられる。
- 6) 生活排水等の人為的汚濁負荷がほとんどない河川上流域においても、長期的な硝酸性窒素濃度の増加が見られている。その増加速度は、河川表流水のそれと比較して、同程度のものもあることから、大気降下物由来の負荷の影響も無視できない大きさであると考えられる。

4. 2 今後の課題

- 1) 河川水の pH 上昇によって鉄濃度が低下している実態が把握されたことから、海産物への微量必須元素供給の観点から、窒素制御を検討する必要がある。
- 2) 窒素の負荷源としては、人為的 direct 負荷の他に、大気降下物についても検討する必要がある。
- 3) 水質に影響を及ぼす酸性物質として、炭酸と硝酸性窒素の寄与度について検討する必要がある。
- 4) 地下水においてヒ素等重金属の濃度が上昇する可能性があり、表流水の濃度も併せて、注意する必要がある。
- 5) 金属類全般について、河川水中濃度の増加が予測されるため、2 次的影響の可能性について、さらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) (社) 日本水道協会：昭和 44 年度水道統計、第 52 号、1971
- 2) (社) 日本水道協会：昭和 62 年度水道統計、第 70-2 号、1989
- 3) (社) 日本水道協会（ホームページ）：水道水質データベース、http://www.jwwa.or.jp/mizu/or_up.html、平成 17 年度
- 4) 気象庁（ホームページ）：気象統計情報／地球環境・気候／<http://www.data.kishou.go.jp/climate/index.html>
- 5) 気象庁（ホームページ）：気象統計情報／地球環境・気候／気候変動監視レポート 2006／<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/index.html>
- 6) スタム&モーガン：一般水質化学(上)、共立出版(株)、p.176、1974
- 7) スタム&モーガン：一般水質化学(下)、共立出版(株)、p.500、1974
- 8) 小林純：水の健康診断、岩波新書、pp.40-41;46-47、1971