洪水時における河水の化学成分に関する予察的研究

荒 卷 孚*

A Preliminary Study on the Chemical Composition of River Water in the Flood

BY

Makoto ARAMAKI

(Abstract)

On the chemical composition of river water, it has been accepted that an increase in water level is mainly accompanied by a decrease in concentration of chemical composition. Looking over the state in concentration change of river water in high water level, however, the chemical composition does not necessarily indicate such a trend.

As for observations at Oyahana of the Ara River during the flood (6.30 m in peak) occurred by Typhoon No. 14 in 1954, writer the made clear that Ré (Solution), SO''_4 , SiO_2 , PO'''_4 , varied in proportion to the water level. This phenomenon might be explained by the fact as follows. 1) The soluble materials of cultivated field and weathering soil were washed away by the hard surface runoff, when the land got a shock by the heavy falling rain drops. 2) The soluble materials of suspended load in river was washed away by the flow, when the suspended load was stirred up by a strong force of turbulence flow.

The total amount of chemical composition transported by the river during the flood was also estimated $15 \times 10^3 \text{ t}$ in Ré (Solution), 5×10^3 in Cl' , $9 \times 10^2 \text{ t}$ in SO''_4 , $13 \times 10^2 \text{ t}$ in SiO_2 , 2 t in PO'''_4 , respectively. Amount of Solution corresponds to some 1/40 to amount of suspended load simultaneously transported.

I は し が き

戦後、河水の化学成分に関する研究は地球化学者によつて好んで採り上げられ、それに関連して水位の変動に伴う化学成分の濃度変化が論じられている。最近では、岩手県下の河水の化学成分を克明に調べた後藤達夫の研究¹⁾や、群馬県周辺の河水成分の変化の状態を研究した山県登らの報告²⁾がある。これらはいづれも水位と化学成分との関係を河水成分の季節的变化から論じたもので、また、その対象とする水位高及び流量値が極めて小さい。従つて、水位高が数米にも及び、流量が毎秒数千立方米にも達するような高水時に、出水の全期間を通じて化学成分の傾向を調べ、その結果から水位と成分との関係を論じたものは少ない。

また、過去の研究では、河水の化学成分の多くは降水による稀釈作用のため、水位と逆相関を示し、水位の上昇に伴つて河水に含まれる成分濃度が稀薄になると云われて来た。しかるに、谷津・貝塚が関東主要河川で行つた高水時の蒸発残留物(Ré)の調査では、多摩川・江戸川等で、水位とRéが正の相関を示

* 東京教育大学理学部地理学教室

したと報告している³⁾。更に、米国の Geological Survey で行つた広範囲な河川の化学成分の定時測定の結果をみても、数河川の Ré は水位と正の関係にある⁴⁾。従つて、河水の Ré の傾向をとりあげても、水位と河水成分との傾向は必ずしも一般に云われているような結果が得られるとは限らないから、殆んど研究の対象とされていなかった洪水時の化学成分を出水期間中詳しく測定して、その傾向を調べてみた。

なお、この研究にあつては、終始、東京教育大学 三野与吉博士、防衛大学 寿田晋吾講師の御助言を得、試料採取の際には正井泰夫・関谷雅臣両氏の協力を得た。記して、こゝに感謝の意を表したい。

II 調査地点及び調査方法

調査地点は荒川中流部に位置する親鼻橋を選んだ(図 1)。この地点は寄居市と秩父市とのほぼ中間に位置し、この地点から上流の流域面積は 519.2 km²、そのうち、7.1%が耕地である。流域を構成する地質は上流部に広く秩父古生層が発達し、下流部の北側に主として第三紀層が分布する。

調査を行つた出水は 1954 年 9 月 17~19 日の颱風 14 号によるもので、最高水位 6.30 m、最大流量 4,300 m³/sec が記録された。当時の出水の状況をすると、この颱風の襲来前に、不連続線による降雨が 2 日前から降り続き、秩父で 22 mm、三峯で 33 mm の降水が記録されていた。従つて河水はやゝ増水の徴をみせており、颱風による豪雨と共に急激に増量した。調査時の時間雨量、水位・時間曲線及び流量・時間曲線を示すと図 2 に示される。

出水期間中の採水は増水と共に、1 時間おきに行い、同時に水位・流速等も観測した。採水した試料は実験室に持ち帰り、蒸発残留物 (Ré), Cl',

第 1 図 調査地域と調査地点

第 2 図 降水量、水位・時間曲線、流量・時間曲線

第 3 図 化 学 成 分 の 濃 度 変 化 曲 線

SO_4^{2-} , SiO_2 , PO_4^{3-} 等の成分を定量した。また、化学成分の分析と同時に浮流物も定量し、その傾向を調べた⁵⁾。なお、今回は採水量が少なかったため、主に陰イオン系統の数種の分析を行うに止め、Ca, Fe, K 等の分析を行わなかった。これらの成分は更めて調査したい。

III 出水期間中の化学成分の変化

河水の分析の結果から、出水期間中の各成分の変化を示す、成分・時間曲線を描くと図 3 のようになる。

1. 蒸発残留物 (Ré)

Ré・時間曲線の変化の傾向は濃度の Peak が最高水位時より若干早めに現われるが、凡よそ、水位・時間曲線と類似し、水位の増加に従って濃度が増大する。このような、Ré と水位との関係を明かにするため、1953 年 7 月 20~23 日に発生した最高水位 3 m (最大流量 $660 \text{ m}^3/\text{sec}$) の出水時の同じ地点で観測した結果を含めて、両者の相関図を作ると図 4—I に示される。その傾向は明かに正の相関を示し、濃度が水位の増減に比例する。

また、この図は最高水位時を境に、それ以前を増水期、それ以後を減水期として区別して表わしたが、両期の濃度は概して増水期のほうが減水期よりも大きい。すなわち、同水位時の両期の濃度を比べると、

第4-I図 Ré と 水 位 と の 関 係

低水位時のそれは殆んど変わらないが、高水時には増水期の濃度が相当に高い。更に、減水期について、濃度の傾向をみると、水位3.5 m あたりから以下の水位になると、濃度がそれほど変わらない。

2. Cl'

Cl' の濃度の時間曲線は図3に示されるように、水位曲線と逆の調係にあり、水位の増加に従つて濃度が減少する。濃度の最少値は3.1 mg/l で、その出現時刻は最高水位時よりも遅れて現れた。また、Ré の場合と同様に、 Cl' と水位との相関図を図示すると (図 4-II), 明らかに、両者は逆相関を示す。こまかく

第4-II図 Cl' と 水 位 と の 関 係

みた両者の傾向は3.5m 水位附近を境に異つており、更に、減水期には、水位2.5 m あたりから以下の水位になると殆んど濃度が等しくなる。

3. SO_4''

SO_4'' の濃度・時間曲線に示される傾向は Ré のそれと同様に、濃度の最大値が最高水位時より若干早めに現われ、凡そそ水位と正の関係を有して変化する。その傾向は図4-IIIの SO_4'' の濃度と水位との相関図に明かなように、水位3.5 mm 前後から明瞭になる。すなわち、水位3.5 m あたりまでは濃度は殆んど変らず、却つて、水位と逆相関を示すようであるが、それ以上の水位になると傾向が異つて、水位の増加と共に濃度が増大する。

増水時と減水時との濃度の違いは SO_4'' の場合には殆んど認められない。

4. SiO_2

SiO_2 の濃度・水位曲線をみると、 SO_4'' と等しく、水位と正の相関を示す。濃度の最大値は12.7 mg/l で、最高水位時よりも早目に出現した。また、他の成分に比べて、比較的值の大きい濃度が高水位時に長時間持続した。 SiO_2 の濃度と水位との相関図は図 4-IV のようであるが、明らかに正の関係を表わす。増

第 4-III 図 $\text{SO}_4^{''}$ と 水 位 と の 関 係 第 4-IV 図 SiO_2 と 水 位 と の 関 係

水期と減水期の濃度を比べると、同水時の濃度は全般に増水期に大きい。そして、水位と濃度との増減の比率は増水期に高い。

5. $\text{PO}_4^{'''}$

$\text{PO}_4^{'''}$ の濃度は全般に水位と正の相関を示すが、他の成分ほど濃度の変化が明らかでない。また、最大濃度時は最高水位時と一致するが、 $\text{SO}_4^{''}$ 、 SiO_2 ほど、濃度・水位曲線が水位曲線と類似しない。しかし、 $\text{PO}_4^{'''}$ の濃度と水位との相関図を作ると (図 4-V)、両者の傾向は明らかに正の関係にある。こまかく傾

第 4-V 図 $\text{PO}_4^{'''}$ と 水 位 と の 関 係

向をみると、増水期のそれは水位 3 m あたりから、濃度の増加率が大きく、また、減水期には水位 3.5 m あたりから以下の水位では濃度が殆んど一定になる。一般に、減水期より増水期に濃度が高い。

IV 化学成分の変化からみた成分の流出機構の考察

出水期間中の河水の化学成分の結果から得た傾向は Cl' を除いて、 $\text{Re} \cdot \text{SO}_4^{''} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{PO}_4^{'''}$ の成分が水位と正の相関を有して変化することである。一般に、過去の研究では⁶⁾、 Re をはじめ今回分析した成分

の全てが、水位と逆相関を有して変化するとされて来た。そして、その現象の説明として、洪水時の河水には地中深く滲透して湧出した地下水の割合が比較的多く、河水に溶解する化学成分が濃厚なのに対し、降雨によつて増水した河水は地表面を洗つた雨水が多く、無機物が少ないので、地下水による河水を稀釈するためと述べている。しかるに、今回の洪水時の調査では、 Cl^- を除く他の化学成分の傾向が水位と正の関係を現わしている。これと同じような傾向について、Ré に関してはすでにいくつかの報告を前述した。また、菅谷重二は石狩川における融雪洪水期の河水の調査から⁷⁾、 PO_4^{3-} の濃度が増水最盛期に多く減水するほどその濃度が減ずると報告している。更に、筆者は渡良瀬川の源流部の SO_4^{2-} の濃度が水位の上昇に従つて増加することを述べたが⁸⁾、これは渡良瀬川源流部に立地する足尾鉱山の影響による特異な局地的結果であろうと解したことがあつた。

そこで、荒川流域内で、渡良瀬川におけるような化学成分に異常を来す特殊な条件が認められないとすれば、筆者はその原因をつぎのように解してみたい。

I) まず、耕地や山地の土壤に対する洪水時の豪雨の影響で。すなわち、洪水になるような豪雨時に、耕地や山地の土壤が強い雨滴の衝撃をうけて擾乱され、それらの中に存在する物質が洗脱され、更に、その際の強い流れの表面流出水によつてそれらの物質が洗い流されて、河水に供給されるためであろうと考える。特に耕地から流去する物質量は雨量強度の大きい豪雨時には相当量に達することが見込まれる。前掲の石狩川の PO_4^{3-} の傾向に対しても、菅谷博士はその原因として、流出最盛時の化学的な作用による耕地からの可溶分の流亡をあげている。

第 5 図 浮 流 物 の 濃 度 曲 線

このような事実は図 4 に示した各成分濃度と水位との相関図からも明らかなようである。すなわち、水位と成分濃度との傾向が水位 3.5 m 附近を境に異なることは雨水の流出機構に関連してくるようである。恐らく、増水期にはこの水位あたりから、多量の表面流出水が河水に直接影響を与え、減水期にはこの水位あたりから、表面流出による流水の供給が著しく減ずるためと思われる。このことは図 2 の流量・時間曲線をみても明らかで、水位 3.5 m を前後して、流量は急激に増減する。

II) つぎに、高水時に化学成分を増す要因として考えられるものは、高水時における河水の乱れの増加による浮流物からの可溶分の溶出である。一般に、流水の乱れは水位が上昇し、流速が増大するほど、その規模が大きくなるから、高水時に浮流物を攪拌する力が増大するであろう。また、図 5 は同調査時に河

水に浮流して運ばれた物質量を示したが、この図に明らかなごとく、浮流物質量は水位が増すほど急激に増量する。従つて、高水時における流れの乱れの力の増加が増量した浮流物から多量の可溶分を溶出させ、高水時に河水の成分濃度を高めることになるであろう。谷津・貝塚¹⁰⁾も前掲の論文でこの点を指摘し、高水時の化学成分の高まりを説明している。

要するに、以上の諸点が成分濃度を高める要因として指摘されようが、河水の化学成分のうち、 Cl' が洪水時でも他の成分の傾向と異つて、水位と逆相関を示している。これは Cl' のもつ化学的特性によるもので、土壤中における Cl' の滞留する様相が他のイオンと異なるためであろう。B. Polynov¹¹⁾ は風化殻における諸成分の可動性を論じているが、そのなかで、 Cl' の可動性が他の成分に比べて極端に大きいことを指摘している。従つて、風化する過程において Cl' 洗脱が容易にされ、土壤中に殆んど残留していないためらしい。特に日本のような酸性土壤には溶存する Cl' は極めて微量にしか認められないであろう。このため、他のイオンと異つて、豪雨時にもそれほど供給されず、却つて雨水に稀釈され、濃度が減ずるものと推せられる。

第 1 表 1954 年颱風 14 号による出水期間中
に荒川親鼻橋を通過した成分量

化学成分名	総 流 出 量
総 流 量	11,796 万 m^3
Ré	15,161 ton
Cl'	469 //
SO_4''	933 //
SiO_2	1,329 //
PO_4'''	2 //

を指摘している。従つて、風化する過程において Cl' 洗脱が容易にされ、土壤中に殆んど残留していないためらしい。特に日本のような酸性土壤には溶存する Cl' は極めて微量にしか認められないであろう。このため、他のイオンと異つて、豪雨時にもそれほど供給されず、却つて雨水に稀釈され、濃度が減ずるものと推せられる。

V 1954 年の颱風 14 号による化学成分の流出量

以上、河水に含まれる各種化学成分の傾向を述べて来たが、颱風 14 号による高水期間中、荒川親鼻橋を通過した化学成分の総量を算出すると表 1 のようである。すなわち、同期間中の総流出水量は約 1.2 億 m^3 で、同時に溶流した Ré は約 $1.5 \times 10^3 \text{ t}$ 、 Cl' が約 $5 \times 10^2 \text{ t}$ 、 SO_4'' が約 $9 \times 10^2 \text{ t}$ 、 SiO_2 が約 $13 \times 10^2 \text{ t}$ 、 PO_4''' が約 2 t であつた。

また、同時に運搬された総浮流物量が、 $601 \times 10^3 \text{ t}$ であつたから、蒸発残留物 (Ré) は浮流物の 1/40 程度の量が運ばれたことになる。

VI 要 約

1954 年 9 月、颱風 14 号による最高水位 6.30 m の高水時に荒川親鼻橋で調べた河水の化学成分の結果を要約するとつぎのようである。

1. Cl' を除いて、蒸発残留物 (Ré)、 SO_4'' 、 SiO_2 、 PO_4''' 等の成分濃度は水位と正の相関がある。これは豪雨の衝撃が及ぼす土壤の攪乱と強い表面流出水による可溶分の洗脱の影響、更に、河水の乱れの増加による多量の浮流物の攪拌に原因するらしい。特に、表面流出の影響が顕著に現われる水位 3.5 m 前後で、水位と化学成分との関係が異つてゐる。

また、 Cl' が水位と逆相関を示すことは、 Cl' の化学的特性によるもので、土壤中に溶存する様相が他の成分と異なるためであろう。

2. 颱風 14 号による高水期間中、荒川親鼻橋を通過した総化学成分量は蒸発残留物 (Ré) が $1.5 \times 10^3 \text{ t}$ 、 Cl' が $5 \times 10^2 \text{ t}$ 、 SO_4'' が $9 \times 10^2 \text{ t}$ 、 SiO_2 が $13 \times 10^2 \text{ t}$ 、 PO_4''' が約 2 t であつた。また、Ré の量は同時に運搬された浮流物量の約 1/40 に相当する。

文 献

1) 後藤達夫：中津川の化学成分の季節変化，岩手大学学芸学部研究年報，Vol. 4，2 部，p.

22-28, 1954. 雫石川の化学成分の季節変化，同研究年報，Vol. 6，2 部，p. 15-20, 1954

- 2) 山県登外: 河川成分の年変化—群馬県渡良瀬川及び桐生川について—, 水道協会雑誌, Vol. 236, No. 6, p. 34-40, 1954.
- 3) 谷津栄寿・貝塚夾平: 関東地方主要河川の溶浮流物質に関する予察的研究, 資源研彙報, No. 25, p. 38-45, 1952.
- 4) Geological Survey: Quality of Surface Water of the U. S. 1946, 1950.
- 5) 荒巻孚: 洪水減水時の浮流物の濃度変化, 地評, Vol. 31, No. 1, p. 24-32, 1958.
- 6) 野口喜三雄・西条八束: 我が国主要河川および湖沼の化学成分, 工業用水, No. 8, p. 673-678, 1956.
- 7) 菅谷重二: 石狩川における融雪期の運搬物質量とその流出源について, 水害の研究, 第三輯, p. 13-28, 北海道土木部.
- 8) 荒巻孚・沢野亮一: 荒廃山地が河床堆積物および運搬物質に与える影響, 地評, Vol. 30, No. 7, p. 548-563, 1957.
- 9) 荒巻孚: 洪水時における渡良瀬川の流出傾向, 天気, Vol. 5, No. 5, p. 150-157, 1958.
- 10) 谷津栄寿・貝塚夾平: 前掲 (3)
- 11) Polynov, B. B.: The Cycle of Weathering p. 161-164, London (Reprint) 1937.