北上川の塩水潮上について

戸 谷 康 義

ON THE CHARACTERISTICS OF SALT INTRUSION IN THE KITAKAMI RIVER, MIYAGI PREFECTURE

by

Yasuyoshi TOTANI

Summary

During the period 1965 to 1968, determinations were made of salinity, temperature and velocity in the Kitakami River.

The salinity concentration of bottom layer is much higher than the surface layer at the lower end of the river. Consequently, the water of surface layer is fresh water and that of the bottom layer is salt water (Fig. 2).

The salt wedge type of the Kitakami River shows fine negligible mixing. This phenomenon is rare, because in the rivers emptying into the Pacific Ocean, it is generally moderate mixing. The salt wedge type is caused by the level difference between the low water and the high water, but it is also caused by discharge, too (Fig. 3).

The salt wedge length affected by an influence of discharge. When discharge decreases into about $70\text{m}^3/\text{sec}$, the salt water intrudes into upper stream, about 8 km point from river mouth. But, when discharge increases into about $400\text{m}^3/\text{sec}$, the salt water is restricted to the vicinity river mouth (Fig. 6).

1. はしがき

河川の下流部は、通常、潮汐の影響をうけて、塩水が河床に沿って潮上していく現象がみられる。一般に、経済活動、社会活動の中心が、河川下流地域の平野部にみられるから、かかる現象は、農業用水、工業用水あるいは飲料水を河川水に期待するときに、とくに大きな問題を引きおこす。渇水期における取水は、しばしば塩水を汲み上げ、水稻や工作機械や上水道に塩害をもたらすことがある。したがって、とくに農業水利と塩水潮上の関係は、密接な意義をもつ。このことから、河川における塩水潮上の性格を知ることは、極めて重要なことと考えられる。

本邦河川の塩水潮上の性格についての報告は、三井、戸谷、井上 (1967)、三井、井上 (1970) などによってなされているが、北上川については、まだ研究がなされていない。

1965年以来、約4年間にわたって、東北農政局を中心として、資源科学研究所の協力のもとに、北上川の塩水調査がおこなわれた。その資料の提供をうけ、これらをもとに、塩水潮上の特性を検討することができたので、ここに報告したい。

本稿をまとめるにあたり、終始御指導いただいた法政大学の三井嘉都夫教授、資料の提供に御協力いただいた農林省東北農政局の方々、資源科学研究所の井上奉生、小林慈信の各氏に対して感謝する次第である。

2. 調査地域の概要と調査方法

北上川は、北上山地と奥羽山地を分水嶺とし、南北に長い流域をもち、途中、幾多の支川を合せながら、柳津付近で、旧北上川と新北上川に分れ、前者は石巻湾に、後者は追波湾に注いでいる。調査の対象となる旧北上川の下流地域は水田が広く分布し、灌漑用水として、この川の水に期待するところが大きい。また、石巻市を中心にして、海岸沿いに工業地域化する構想もあり、将来にわたっても、水の需要はますます高まるものと思われる。

調査は、1965年以来4年間にわたっておこなわれた。調査地点は Fig. 1 に示されている。調査の時期は、灌漑のおこなわれる5月から9月までの間に、月1～3回なされた。調査の項目は、Depth Meter による測深、電気伝導度計による塩分測定、その他に水温、pH測定、さらに流速測定である。測定は、表層より底層までを1 mごとにおこない、とくに塩分濃度の急変するところでは、10 cmごとにおこなわれている。観測は縦断観測と定

Fig. 1. Location of stations.

点観測の両方についてなされ、その範囲は塩水の影響のあるところまでに限定されている。なお、塩分量は電導度をClに換算し、それを Knudsen の式により求めたものである。

3. 北上川の塩分分布と塩水楔の形状

縦断分布は Fig.2 に示されている。1968年5月6日と9月19日のこの2つの観測例は、豊水期と平水期の塩分分布を示したものである。図からもわかるように、塩分濃度の変化は、水平方向よりも、垂直方向に高くあらわされている。塩分濃度が急変するのは、塩水楔の先端を除くすべての地点で、豊水期に水深3～4 mの間であり、平水期に1～2 mの間である。塩分濃度の変化を量的にみると、この急変地点で1‰から30‰になり、不連続

面をつくっていることがわかる。したがって、この不連続面を境に上層が淡水、下層が塩水ということになる。このように北上川の下流域では、上下2層の形状を示す弱混合型の塩水楔を形成するところに一つの大い特徴があるといえよう。

一般に、潮差の小さい日本海に注ぐ河川では、弱混合型の塩水楔が観察されている。しかし、潮差の比較的大きい太平洋側では、むしろ緩混合型の塩水楔が形成されるといわれているし、また実際に江戸川、中川（資源研、1963）でもそれが確認されている。

太平洋側に注ぐ北上川で、弱混合型を呈することについては、次のようなことが考えられる。流量の変化をみると、他の河川と同様に季節変化を示すが、一般に流量が多く、渇水期でも100m³/sec 以下になることは、極めて少ない（Fig.3）。したがって比較的豊富な淡水流量は、潮差の大きい海水と平衡状態になるが、密度差が大きいので、急激に移動して、上・下の二重層を形成するものと考えられる。しかし、淡水流量が100m³/sec を割った場合、例えば1967年6月5日にみられるように、塩水楔の形状は緩混合型をとることもある（Fig.4）。

4. 塩水の溯上機構

塩水の溯上のしかたは、逆流時の流速と何んらかの関係があると考えて、旧北上川の河口より上流3.2kmに位置する石巻大橋で定点時間観測がおこなわれたものをまとめたのが、Fig.5に示されている。

潮汐の状況は、10h00m頃が干潮で、16h00mが満潮である。干潮時にあたる10h00mの塩分は底層に2‰を認めるにすぎない。流れは、表層から水深3 mの位置まで0.02～0.01m/sec で変化するが、順流である。11h00mになると表層から水深2 mまでの流れは止まり、水深3 mのところで－0.05m/secの流速を認める。この時に、この流れにとまって塩水の動きがはじまる。塩分は底

Fig. 2. Longitudinal distribution of salinity (‰)

Fig. 3. Frequency of discharge. (1957—1967)

Fig. 4. Longitudinal distribution of salinity (‰)

層で26‰と濃度を増す。12h00mから14h00mまでの流れは、表層より水深2.5mのところまでまったくとり、水深3m付近で $-0.20\text{m/sec} \sim -0.15\text{m/sec}$ の比較的早い速度で逆流していく。そして塩分濃度は28‰～32‰の範囲まで増加する。満潮に近づくにつれて、流れも遅くなり、15h00mには、水深3mのところ、わずかに -0.01m/sec を認めるにすぎない。満潮が過ぎたと思われる16h00mには、底層より落潮が開始され、これにともなって、塩分濃度も26‰程度まで減ずる。その後、17h00mになると、底層の流れがとまとともに表層の流速が大きくなり、水深1.5mのところまで順流となる。塩分濃度も次第に淡水により稀釈されていく。

したがって、塩分濃度と逆流時の流速との関係は、かなり密接な関連をもっていることがわかる。すなわち、流速の急変するところと、塩分濃度の急変するところはほぼ一致する。そして逆流時のもっとも流速の早いのは水深3mのところ、この層を通じて高い濃度の塩分が

供給されていることがわかる。ただ、この Mechanism については今後の課題として検討されなければならないであろう。なお、河口より4km付近のもっとも深い河床の部分に干潮時でも塩水が残留することが観測されたが (Dyer. 1969 の観測例もある)、常時このような現象が起きかどうかについては観測例が少ないので、将来この面の検討も必要と思われる。

5. 塩水の溯上距離

塩水の溯上距離は、淡水流量の関数であらわされることが、すでに米代川や石狩川などの調査結果から判明している。Fig. 6 A は実測による流量と塩水の溯上距離の関係を示したものである。これによると、和淵の流量が $70\text{m}^3/\text{sec}$ になる時、塩水楔は河口より8.0kmの地点まで溯上する。しかし、 $100 \sim 200\text{m}^3/\text{sec}$ までの間の流量では、河口より6.0kmの地点に集中して楔の長さに変

化がみられない。このことは河床の存在と非常に密接な関係があるように思われる。

北上川の河床は、Fig. 7に示されるように河口より3.0～4.0kmの間で最低を示す。それより上流は多少の起伏をもちながら次第に高くなる。8.0kmを越えた地点では一時深くなるが全体的には緩やかな河床形態をあらわしている。なお20.0kmの地点まで海面下である。

以上のことから6.0kmより上流で、河床が次第に高さを増すため、ここで溯上してくる塩水がさえぎられてしまうようである。そして淡水流量が減少して、塩水の流入量が多くなると、塩水層が厚みを増して、6.0kmより上流に溯上していく。この時、流量は $100\text{m}^3/\text{sec}$ 以下になっている。しかし、前にも述べたように、北上川の流量は $100\text{m}^3/\text{sec}$ 以下になる頻度が少ないから8.0kmの地点まで溯上することはまれで、平水時の溯上限界は6.0kmのところと考えてもよい。なお $400\text{m}^3/\text{sec}$ になると塩水楔は河口付近に限られることになる。したがって春先

の融雪期は $1000\text{m}^3/\text{sec}$ 以上になることもあるが、この時、塩水楔は河口およびそれに連なる海域にも存在しないものと思われる。

次に、流量と塩水溯上距離の関係を理論式 (J.C.Schönfeld 1953) により計算した結果が Fig. 6B に示されている。これによると実測値と一致するのは、大体流量が $200 \sim 400\text{m}^3/\text{sec}$ の間の時である。これより流量が大きい場合と小さい場合では、ほとんど一致がみられない。これは理論式を用いる場合において、河川の地理的諸条件を無視するからである。

6. 要 約

北上川の塩水溯上の特性を要約すると次のようになる。

(1) 北上川の塩水溯上の型は弱混合型で、太平洋側に注ぐ河川としては特異な存在である。これは北上川が年間を通じて $100 \sim 400\text{m}^3/\text{sec}$ の出現日数が約300日もあることから、流量が比較的豊富であることを示すからには

かならない。したがって、渇水期になると、緩混合型を呈する。

(2) 塩分濃度の変化を逆流時の流速との関係においてみると、両者の間には一定の関係がみられる。すなわち塩分濃度の変化のあるところで、流速が変化することである。満潮に移行する場合の底層の流速は早く、この流速によって塩分濃度の高い塩水が進入して塩水楔を形成する。なお落潮時に河床の最深部に塩水が流出できず、残留する場合もある。

(3) 塩水の溯上距離は、流量の変動にともなって変化する。淡水流量が $400\text{m}^3/\text{sec}$ になると、塩水楔は河口付近に限られるが、 $100\text{m}^3/\text{sec}$ を割ると8.0km付近まで溯上していく。しかし $100\text{m}^3/\text{sec} \sim 300\text{m}^3/\text{sec}$ では一般に6.0km付近にその先端がみられる。これは河床と密接な関係を有するからである。

Fig. 5. Variation of salinity (●) and velocity (○), Ishinomaki bridge on 2. Aug. 1967.

Fig. 6. Relation of salt wedge length and discharge.
(A) obserbation, (B) calculation.

雑 報

国際陸水学会50年記念大会

創立50年を記念して表記大会が1972年10月1～13日にドイツで開催される。10月2～3日にキールで行なわれる plenary lectures としてつぎの講演がある。

古陸水学 (G.E.Hutchinson), 物理陸水学 (C.H.Mortimer), 化学陸水学 (W.Ohle), 生物化学と微生物学 (J.Overbeck), 一次生産と富栄養化 (R.Vollenweider), 二次生産 (W.T.Edmondson), 魚類生物学 (H.A.Regier), 流水 (T.T.Macan), 生産とエネルギー・フロー (G.G.Winberg), 生物地理学 (L.Brundin), 応用陸水学 (K.W.Uhrmann),

以上の講演の論文は Mitteilungen の特別号として出版される。

10月4～12日にかけての excursion にはドイツ国内のつぎの陸水研究所を訪問する。

ブレーンの Max-Planck-Institut für Limnologie, ハン

Fig. 7. Longitudinal section of river bed.

参 考 文 献

K.R.Dyer and K.Ramamoorthy : Salinity and Water circulation in the Vellar estuary. *Limnol. and Oceanogr.*, **14**, 14—15, 1969.

三井嘉都夫・戸谷康義・井上奉生・寺西経昭：米代川の塩水溯上について，資源研彙，**68**.21—30, 1967.

三井嘉都夫・井上奉生・島村勇二・小林慈信：田名部川の水利に関する研究，第Ⅱ報，資源研彙，**74**. 57—64, 1970.

資源科学研究所：水質汚濁に関する研究経過報告書Ⅱ. 134—177, 1963.

Schijf, J.B. and J.C.Schönfeld : Theoretical considerations on the motion of salt and fresh water. *Proc. Minn. Intern. Hydr. Conv. I. A. H. R.*, 321—333, 1953.

ブルグのInstitut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft, 同じくハンブルグの Bundesforschungsanstalt für Fischerei, ドルトムンドの Kohlenstoffbiologische Forschungsstation, コブレンツの Bundesanstalt für Gewässerkunde, シュリッツの Limnologische Flusstation, ランゲンアルゲンの Staatliches Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung, コンスタンツの Limnologisches Institut, 同じくコンスタンツの Staatliches Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung.

(津田松苗)

計 報

デンマーク滞在中の門田定美会員よりの連絡によると、同国の枝角類研究の第一人者として知られた Kaj Berg 博士は3月17日急逝された由である。同博士は1965年、ポーランドで開催の第16回陸水学国際会議において、ナウマンメダルを受賞されている。

(堀江正治)