

京都大学工学部 正員

高橋琢馬

和歌山県

正員

○鈴木藤一郎

I. まえがき 年々行なわれている莫大な治水投資にもかかわらず、洪水による被害はいつこうに減少しようとはしない。それどころか流域の資産の増大にともなう被害の絶対量は増大する傾向がみられる。近年の洪水被害の実体を、大河川流域についてみれば、本川よりも支川で多発する傾向がみられる。このような現象をただちに支川の疎通能力を増大させるような河川改修に結びつけるとしたら、それはそれだけ下流部(本川)の洪水に対する危険性と増大させるという意味で、きわめて性急な結論といわざるをえない。しかしながら、さきにのべたように洪水被害が支川あるいは中小河川に集中している現状をみれば、上下流の疎通能力のバランスはいかにあるべきかという問題に、真剣にとりくまれてしかなるべきであろう。このような観点と重視するならば、上下流の疎通能力は従来のように各地点ごとにバラバラに、しかも流量あるいは破堤の生起確率のような物理的尺度でのみ評価するのでは十分でなく、たとえば経済分析を導入して疎通能力を物理的・経済的にしかも流域一貫してとらえることが必要であると考えらる。

II. 流域一貫した疎通能力の評価

(1) 問題提起 以下の考察では、図-1のようなモデル流域を対象として考えることにする。図において、A・B・Cは、防災対象地区を示し、各々の地区の疎通能力を QB_A , QB_B , QB_C とする。

さて、図-1のような流域において、たとえば、上流A地区の改修を行なえば、A地区の年平均被害額は減少するが、同時に下流C地区の年平均被害額は増大するであろうことは莫然と予想されることである。本論文はこのように答えることを一つの目的としているが、以下に流域一貫して疎通能力を評価するという立場から問題提起をしたい。

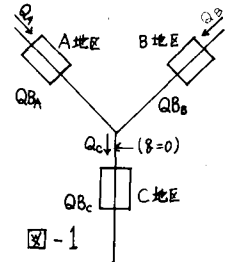


図-1

- i) C地区の改修により、C地区の年平均被害額はどのように変化するか。
 - ii) 任意の規模の上流A地区の改修により、A地区の年平均被害額はどれ程減少し、同時に、下流C地区の年平均被害額はどれ程増大するか。
 - iii) ii)から生まれる問題として、上流A地区(あるいはB地区)の改修に対して下流部の年平均被害額を増大させないためには、下流部をどのように改修すればよいか。
 - iv) 何らかの評価基準のもとで、A・B・C 3地区の疎通能力バランスを得るにはどうすればよいか。
 - v) A地区あるいはB地区の上流に岩木ダムを建設したら、上下流の年平均被害額はどのように変化するか。さらに、河道改修とダム建設を同時に行なうと上下流バランスを得るには、いかにすべきか。
- 以上5つの点にほぼ集約されるが、以下にそれを明らかにしよう。

(2) 理論式の誘導 AおよびB地区の年平均被害額は、それぞれの地区の流量の生起確率密度関数を $P_A(Q_A)$, $P_B(Q_B)$, 流量被害関数を $D_A(Q_A)$, $D_B(Q_B)$ とするとき。

$$DMA(QBA) = \int_{QB_A}^{\infty} P_A(Q_A) \cdot D_A(Q_A) dQ_A \cdots (1), \quad DM_B(QB_B) = \int_{QB_B}^{\infty} P_B(Q_B) \cdot D_B(Q_B) dQ_B \cdots (2)$$

として求められることには説明を要しないだろう。いうまでもなく、これらの関数 $DM_A(QB_A)$, および $DM_B(QB_B)$ は、疎通能力 QB_A , QB_B の減少関数である。

つぎに、C地区の年平均被害額を明らかにする前に、つぎのような仮定を設ける。すなわち、

1) 両支川の洪水ピーク発生時刻は合流点で一致するものとする。 ($QA + QB = QC$)

2) A地区、あるいはB地区で破壊したとき、下流へ流下する流量は、それぞれの疎通能力、 QB_A , QB_B に等しいものとする。⁽¹⁾ さらに残流域流量 $q = 0$ とする。

このような仮定を設けると、C地区破壊の事象は 図-2 の領域、(AC), (BC), (ABC), (C) 内の流量 (QA , QB) によって起こることがわかる。

ここで注目すべきことは、上記のC地区破壊の領域の大きさが、各地区疎通能力のみで表わされるということである。

つぎに、流量 QA , QB の同時生起確率密度関数 $P_c(QA, QB)$ は、両者の相関係数を ρ として、

$$P_c(QA, QB) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left\{ -\frac{QA^2 - 2\rho QA QB + QB^2}{2(1-\rho^2)} \right\} \quad (3)$$

と表わされる。さらにC地区の流量被害関数 $D_c(Q_c)$ は、さきの仮定(1), (2) によつて、

$$D_c(Q_c) = D_c(QA + QB) \quad \text{ただし} \quad QA \leq QB_A, \quad QB \leq QB_B \quad (4)$$

となる。以上により、C地区年平均被害額 DM_c は、次式で与えられる。

$$DM_c = \iint_S P_c(QA, QB) \cdot D_c(QA + QB) \, dQA \cdot dQB \quad (5)$$

ただし、積分領域 $S = (AC) + (BC) + (ABC) + (C)$

ここに、積分領域 S は、前述のように、各地区疎通能力 QB_A , QB_B , QB_c と表わされたため、(5) 式の DM_c は、つぎのような関数として求められたことになる。

$$DM_c = DM_c(QB_A, QB_B, QB_c) \quad (6)$$

つぎに、上記の関数 DM_c の性質を明らかにしよう。いま上流A地区を改修して、疎通能力を、 $QB_A + \Delta QB_A$ にしたとすると、C地区破壊の積分領域 S は、図-3 のように、斜線の部分だけ増加する。したがって、上流A地区の改修によつて、下流C地区の年平均被害額は増大することがわかる。B地区についても同様である。

つぎに、C地区の疎通能力を $QB_c + \Delta QB_c$ にしたとすれば、積分領域は図-4 のように減少し、C地区年平均被害額は減少するのがわかる。

要約すれば、関数 $DM_c(QB_A, QB_B, QB_c)$ において、 QB_A , QB_B , QB_c は互いに独立で、 DM_c は、 QB_A , QB_B に関しては増加関数、 QB_c に関しては減少関数ということである。

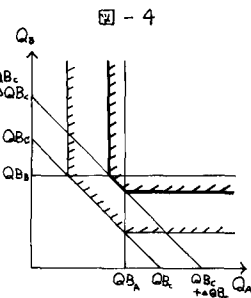
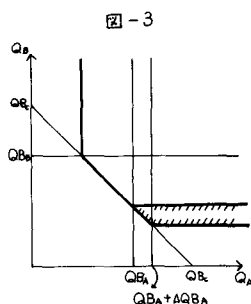
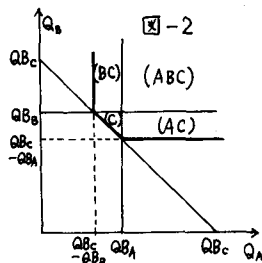
(3) ダム建設の経済効果

A地区あるいは、B地区上流のダム建設による経済効果は、それらがピーク流量を帯び、それぞれ Q_{0A} , Q_{0B} だけカットするものとして、

$$DM_A = DM_A(QB_A, Q_{0A}) \quad (7)$$

$$DM_B = DM_B(QB_B, Q_{0B}) \quad (8)$$

$$DM_c = DM_c(QB_A, QB_B, QB_c, Q_{0A}, Q_{0B}) \quad (9)$$



として求められたことを付け加えておく。これは、 Q_{0A} 、 Q_{0B} によって減少関数である。

Ⅲ. 適用例

Ⅱ. では、流域一貫した疎通能力の評価と題して、問題提起とその定式化に必要な理論式の誘導を試みた。以下においては、その問題提起に答えるべく、理論式に具体的な数値をあてはめ考察しよう。

まず、モデル流域の疎通能力は、図-5 のように定めた。これは、淀川本川、木津川、桂川ならびに残流域流量を考慮したものである。流量の確率密度関数についても淀川流域のものを適用した。また、流量被害関数については、A・B・C 各地区の総資産の割合を $\alpha_5:0.5:9$ として、治水経済調査を参考に決定した。以下の適用例は本論文の主旨を徹底させるための、あくまでも1つの計算例であることとこわしておく。

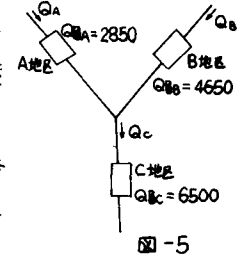


図-5

さて、図-6 は、曲線 $DM_A = DM_A(Q_{BA}, Q_{0A})$ を、 Q_{0A} をパラメータとして表わしたものである。一例として、A地区上流にピーク流量を常に1000 m^3/s カットするダムを建設し、同時に河道を改修して、疎通能力を $Q_{BA} = 4850 \text{ } m^3/s$ にしたとすると、年平均被害額は、図-6 より、30 億円と求められる。図-7 は、B地区において図-6 と同様のものを求めたものである。

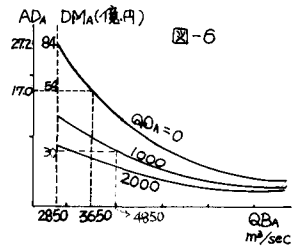


図-6

つぎに、図-8 は下流C地区年平均被害額 $DM_C = (Q_{BA}, Q_{BB}, Q_{BC}, Q_{0A}, Q_{0B})$ の曲線と、 $Q_{0A} = Q_{0B} = 0$ すなわち上流にダムがないとしたうえで、上流の疎通能力が2通りある場合について表わしたものである。図より、上流の疎通能力が一定のときには、C地改修により、C地区年平均被害額が減少し、C地区疎通能力が一定のときには、上流改修によって、下流C地区の年平均被害額が増大するのがわかる。

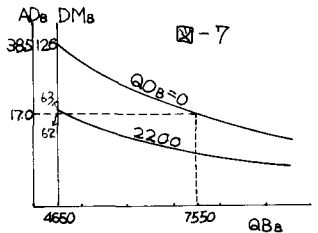


図-7

以上の図-6・7・8によつて、さきのべたA・B・C3地区の疎通能力バランスについて考察してみよう。ただし疎通能力バランスとは、3地区で単位資産あたり年平均被害額が等しいこととする。

まず疎通能力が図-5の状態における、各地区単位資産あたり年平均被害額 AD_A, AD_B, AD_C を求めると、図-6、図-7、図-8よりそれぞれ 27.2, 38.5, 17.0 (億円) と求められる。

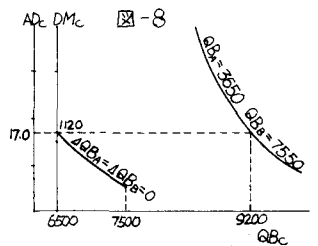


図-8

各地区単位資産あたり年平均被害額をC地区の値すなわち 17.0 億円とするには、図-6より、

$Q_{BA} = 3650 \text{ } m^3/s$ としてやればよいことがわかる。同様に図-7より $Q_{BB} = 7550 \text{ } m^3/s$ と求められる。以上の上流地区改修 ($Q_{BA} = 2850 + 800$, $Q_{BB} = 4650 + 2900$) によって、上流2地区の単位資産あたり年平均被害額は、ともに 17 億円となるが、C地区のそれは図-8のように増大する。したがって、C地区の単位資産あたり年平均被害額 AD_C をもとの 17 億円にするためには、図-8より、 $Q_{BC} = 9200 \text{ } m^3/s$ とすることが必要である。ちなみに、これらの改修による経済効果を求めると、図-6より、A地区便益 $84 - 54 = 30$ 億円と、図-7よりB地区の便益 $126 - 62 = 64$ 億円

の和として、94億円にすぎないことがわかる。

ここで、上流改修の効果を、それが下流に与える影響も考慮して明確に評価したのが、図-9および図-10である。図-9をみればA地区改修によるA地区便益は、下流C地区が同時に受ける損失と大きく下回り、その結果総便益は負になっていることがわかる。図-10についても同様である。これらの図から明らかのように、この流域では、上流部の河道改修は経済的には得策でないことがわかる。

つぎに、ダム建設の経済効果を考察してみよう。各地区の疎通能力は図-5の値のままであるとして、B地区上流に $Q_{0B} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$ の

ダムを建設したとする。このときB地区の年平均被害額は図-7より、

62億円に減少することがわかる。またC地区については、図-11より、

$DM_C = 550$ 億円となる。つまりこのダムの建設効果は、 $(1120 - 550) + (126 - 63) = 633$ 億円と求められる。このとき河道改修をさらに行的な、疎通能力バランスを求めするには、 $Q_{BA} = 2850 + 2200$, $Q_{BB} = 4650 + 4600$, $Q_{BC} = 6500 + 4400$ という莫大な改修を必要とすることがわかった。

つぎに、A・B各地区上流ダムの建設効果の比較をしてみよう。さきのB地区上流ダム ($Q_{0B} = 2200$) は建設済みとする。図-12は、A地区上流のダム建設効果を、点線でA地区便益、一点鎖線でC地区便益、実線でそれらの和すなわち総便益を示している。図-13は、B地区上流ダムの建設効果について、同様のもを求めたものである。これらの図より、ダムのピークカットの規模が一定のときには、A地上流ダムの方がB地区上流ダムよりも効果が大きいことがわかる。両者の経済性の優劣を比較するには、各図の横軸の値を Q_{0A} , Q_{0B} ではなく、それぞれの建設コストに変換しておくことが必要なことはいうまでもない。

IV. 結語

本論文の適用例では、A・B・C各地区の資産の比率を $0.5:0.5=0.9$ とした。すなわち総資産の90%が、下流C地区に集中しているとした。その結果上流部の河道改修により下流に与える被害がきわめて大きいということが明らかになった。同時に、河道改修だけで疎通能力バランスを得ようとするのも、経済的には意味をもたないということになった。もちろん、上下流の資産の分布によっては、これと異なる結論が導き出されるであろうことは当然である。今後はこうした研究とさらに発展させ、合理的な河川計画の一助として行きたい。

参考文献

下流部の破壊の危険度も上流破壊の影響と取り入れて評価したのは、下記の文献が初めであろう。

i) 石原安雄・瀬能邦雄「はんらんの際率論的評価について」S46土木学会関西支部年次学術講演会

