

低水管理における流域管理の重要性に関する研究 — 河川流量を流域水循環の視点から考える —

Study on Importance of Watershed Management in Low Flow Management -A Perspective in River Volume from River System Water Cycle -

水循環・まちづくりグループ 研究員 五十嵐 武
企画グループ グループ長 柏木 才助
水循環・まちづくりグループ 研究員 後藤 勝洋

一級水系本明川は、五家原岳（標高 1,057m）に源を發し、急峻な山麓を南下して諫早平野を潤し調整池に注いでいる。本川の調整池流入位置での流域面積は 87km² と、一級水系としては小さいものの渇水時にも流況が悪化しにくく、九州近辺の筑後川や六角川などに比べ年間の比流出量が多いという特徴を有した河川である。また、水道と工業用水において長崎県全体の地下水利用量の約 4 割を当該流域内で取水するという地下水利用の盛んな地域である。これらの特徴を踏まえると、本明川の河川流量と地下水は関わりが深いと想定される。

このため本稿では、3 次元水循環解析モデルを用いた本明川流域の水循環機構の分析を通して、本明川の河川流量に対して地下水が果たしている役割について明らかとすることで、低水管理における流域管理の重要性について報告する。

本研究では、多良岳一帯を涵養域として分水嶺を跨いで供給される地下水流れが有り、渇水時には平時蓄えられた地下水から表流水へ供給が行われる自然の流況調整機能を有していることを明らかとした。これより、川の水は地下を通して広域に繋がっており、3 次元的な空間の広がりの中での水循環と水利用の係わりを捉えたうえで、低水管理の今後を考えることが重要であることが示された。

キーワード：流域管理、低水管理、水循環、水資源賦存量

The Honmyo River, which is one of the first class river system, originates in Gokahara mountain (elevation 1,057 m), heads south down the steep slope of the mountain and runs to moist Isahaya plains down to irrigation pond. The river area at the flow point to the pond is 87 km², which is the smallest among the first class rivers, but the flow regime tends to stay healthy even during water shortage, and compared with the Chikugo and Rokkaku Rivers in Kyushu region, annual specific discharge is larger in the Honmyo River. The basin overwhelmingly provides approximately 40 % of groundwater uptake for drinking and industrial uses in Nagasaki prefecture. Based on these characteristics, the Honmyo River's volume and underground water probably have a strong relationship.

This paper reports the importance of watershed management by showing the roles underground water play in the Honmyo River's volume via analysis over river basin' water cycle structure, using a 3-dementional water cycle analysis model.

This paper demonstrated the underground water flow supply across watersheds as a recharge area in the mountain of Tara and when water is in short supply, underground water provides surface water, working as natural flow regime functions. The river water is connected widely via underground water by this mechanism and it exhibited the importance of future low flow management in conjunction with water cycle and uses among 3-dimentional spatial distribution.

Key words: watershed management, low flow management, water cycle, amount water resources available

1. はじめに

本明川は、その源を長崎県諫早市の多良山系五家原岳（標高 1,057m）に発し、急峻な山麓を南下した後、諫早市街地の中心部付近を貫流し、緩やかに蛇行しながら調整池へ注ぐ幹川流路延長 28km、流域面積 249km² の一級河川である。下流部では、平成 20 年 3 月には諫早湾干拓事業が完了し、広大な干拓地が創出された。これにより、本明川の河口部が潮受堤防の排水門まで延伸されたが、流域変更以前は幹川流路延長 21km、流域面積 87km² と日本一小さな一級水系であった。



図-1 本明川流域図

地形は特徴的で、北部では多良岳、諫早湾を挟む南部では雲仙普賢岳を中心として、ほぼ円錐形の火山体が認められ、沢地形は放射状に発達している。

気候は、温暖多雨な西海型気候区に属しており、諫早市中心部で年平均気温が 16~17℃、山地部で 11~13℃である。年間降水量は、諫早市中心部付近で 2,200mm 程度、山地部では 1.5 倍の 3,000mm 程度となっており、全国平均 1,600mm と比較して多い。

本明川の河川流況を有明海へ注ぐ周辺の直轄河川と比較して図に示すが、これより、本明川は、渇水時にも流況が悪化しにくく、流量の下支えがある河川と推察される。また、図には単位面積当たりの年間流出量を同様に示すが、嘉瀬川、白川及び緑川には劣るものの若干多い方に位置するという特徴を有し、流況の良い河川とみてとれる。

この中であって流域内の水資源の利用状況（平成 24 年現在）は、図の通りであり、年間 125,000 千 m³ の水が人々の生活を支えている。中でも概算で年間総量 20,000 千 m³ 程度（夏期 60,000m³/日程度）の利用が見られる地下水であるが、水道用水の 9 割、工業用水の 10 割は水源を地下水に求めており、地下水利用の盛ん

な地域であることも大きな特徴の一つである。



図出典：九州地方整備局 有明海・八代海 流入一級河川水質等データ

図-2 近傍河川と流量観測地点

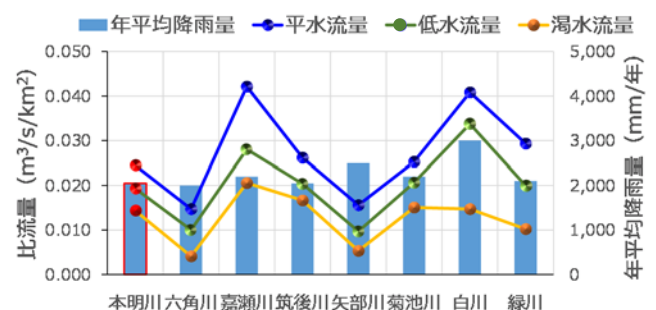


図-3 降水量と流況の比較¹⁾

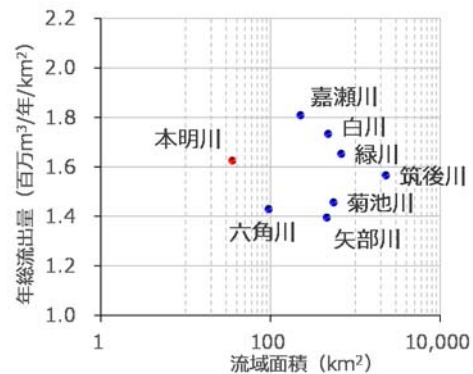


図-4 比流出量の比較¹⁾

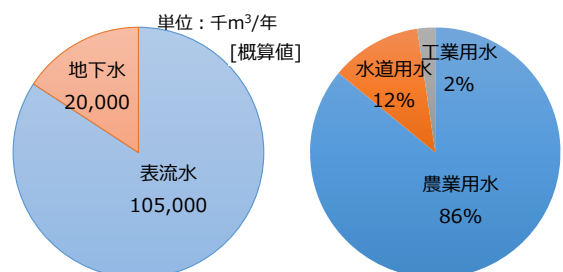


図-5 本明川流域内の水資源の利用状況^{2) 3)}

これらを踏まえ、本稿は、豊かな流況と豊富にみえる地下水を蓄える本明川の水循環機構を解明し、河川流量に対して地下水が果たしている役割を水循環解析により明らかとすることで、低水管理における流域管

理の重要性について報告するものである。

2. 既存資料からみた水循環に係る問題把握

水循環解析の目的を明確化し且つ、適切な手法を用いるため、既往の観測資料や水利用の実績資料等から表流水と地下水の関係性を分析し、本明川水系の水循環に係る状況を推察した。

2-1 降雨の河川への流出状況

本明川の基準地点となる裏山流量観測所 (C.A.=35.8km²)において流出率を確認することで、降雨が川の流量へ変換される際の損失の程度を把握した。



図-6 裏山地点流域分割図

年間総雨量と年間総流出高の関係を図に整理するとともに観測に基づく実績資料であり、整理期間は、S. 55～H. 24 までの 33 ヶ年とした。なお、年間総雨量は、裏山地点から上流の流域平均雨量にて整理した。

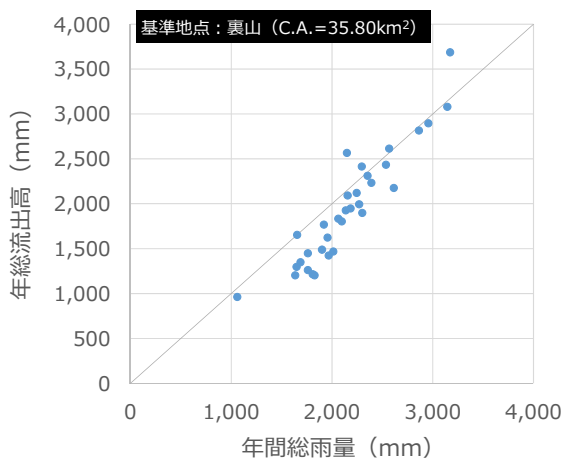


図-7 年間総雨量と年間総流出高⁴⁾

整理結果から降雨量に対する流出高は、1:1 の関係となる 45° ラインに集合していると見てとれ、流出率は平均 0.9 程度となっている。降雨量は蒸発散量を含

み、流出高は蒸発散量が除かれた観測値ということを考慮すると、降雨が川の流量へ変換される際の損失が 1 割程度で、結果的に蒸発散量が 1 割程度と解釈される。しかし、我が国では、既往の研究から蒸発散量が年間降雨量の 20～50% を占めると言われており、本明川は、温暖多雨な西海型気候区に属していることも考慮すると、過大な流出率となっていることが判る。

そこで、実測の流出量を得るために必要な降雨量を可能蒸発散量を考慮して次式にて概算した。なお、蒸発散量の算定には、気温と日照時間から容易に算定可能なハーモン法を用いた。

$$\text{概算流出量} \text{ m}^3/\text{年} = (\text{降雨量} \text{ mm}/\text{年} - \text{蒸発散量} \text{ mm}/\text{年}) \times 35.8 \text{ km}^2$$

S. 55～H. 25 の年平均値として結果を表に示す。

表-1 相当雨量の概算

項目		S.55～H.25平均	
流出量	実測 (m ³ /年)	①	69,246,176
	式より算出 (m ³ /年)	②	44,552,009
差分	流出量 (m ³ /年)	③=②-①	-24,694,167
	流出高 (mm/年)	③/35.8	-690

降雨量から概算した年間流出量は約 44,500 千 m³ であり、実測流出量の約 69,200 千 m³ に対して 25,000 千 m³ 程度 (約 35%) 少ない結果となった。不足する流出量分を降雨量に換算すると年間約 700mm に相当する。

これら観測資料の分析から得られた高い流出率と降雨量の不足は、河川の流出に対して地下水の供給があることを示唆していると考えられた。

2-2 水資源の利用状況

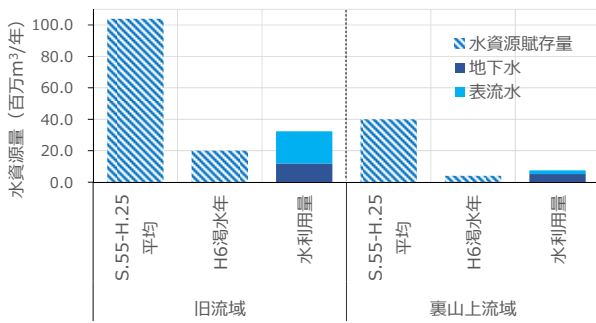
(1) 水資源賦存量と水利用量

本明川の旧流域 (旧河口部地点 C.A.=87.0km²) ならびに裏山上流域の流域内降雨量からみた水資源賦存量に対する水利用量を図に示す。なお、水資源賦存量とは、巨視的に流域の 1 年間の利用可能水資源量を示したものであり<<降水量-蒸発散量>>により算出される。

これより、平均的には、本明川の水利用量 (H. 24 現在) は水資源賦存量の範囲内であるが、列島渇水となった著名な平成 6 年の気象条件下では、水資源賦存量を上回る状況となる。利用量の内訳をみると、渇水年の旧流域内の水資源賦存量に対し地下水利用量は迫るほどとなり、裏山上流域においては、地下水利用をまかなう流域外からの涵養がある可能性が示唆される。

このような水資源賦存量を上回る水利用は、取水制限や河川水の枯渇、更には地下水貯留量の減少等、渇

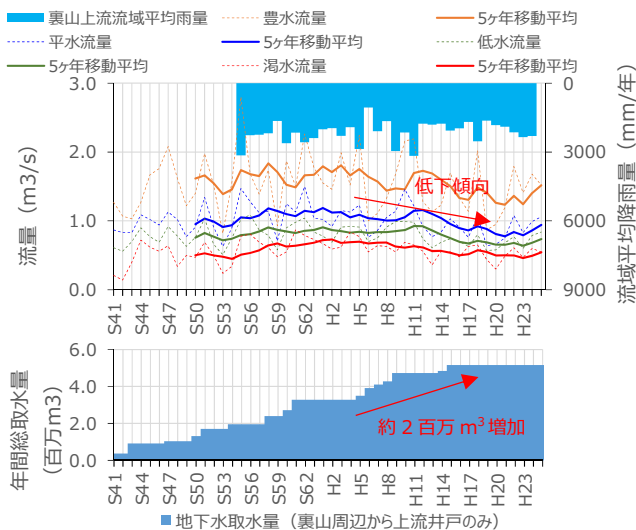
水リスクの増加が懸念される状況が想定される。



図－8 水資源賦存量と水利用量^{2) 3)}

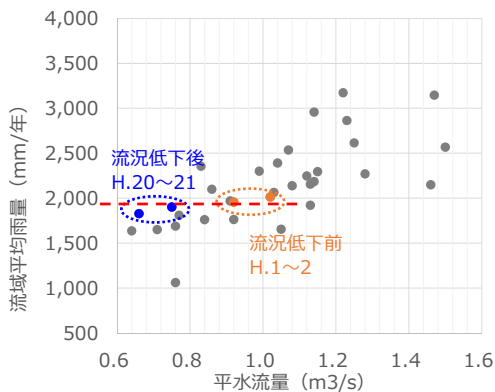
(2) 河川流況と地下水取水量

裏山地点で観測される流況と、裏山地点上流域における降雨量ならびに地下水取水量を経年的に整理して図に示す。



図－9 河川流況と地下水取水量(裏山地点)^{4) 5)}

これより、豊水～渇水流量のいずれにおいても平成5年頃から低下傾向を示し、一方、概算の地下水取水量は同一期間で約2百万m³の増加が見られることから、地下水利用と河川流況の間に因果関係が想定された。



図－10 年間降雨量と平水流量の関係(裏山地点)⁴⁾

表－2 雨量変化量に対する流況変化量

	① H1~2 平均	② H20~21 平均	差分②-①	
			降雨量 (mm/年)	流量 (m³/s)
有効降雨量 (mm/年)	1,080	956	-124	-0.14
平水流量 (m³/s)	0.970	0.705	-	-0.27

このため図に示すように、流況低下前と低下後の時期において降雨量が同等程度となる平成1~2年と平成20~21年に着目し、平水流量の変化を比較した。

比較結果を表に示すが、流況低下前と低下後の降雨量の差は僅かで年間120mm程度であり、これを流量換算すると平均0.14m³/s程度の低下となるが、観測の平水流量の差のみでみると降雨換算の低減量の2倍程度(0.27m³/s)となり、地下水取水の影響が示唆される。

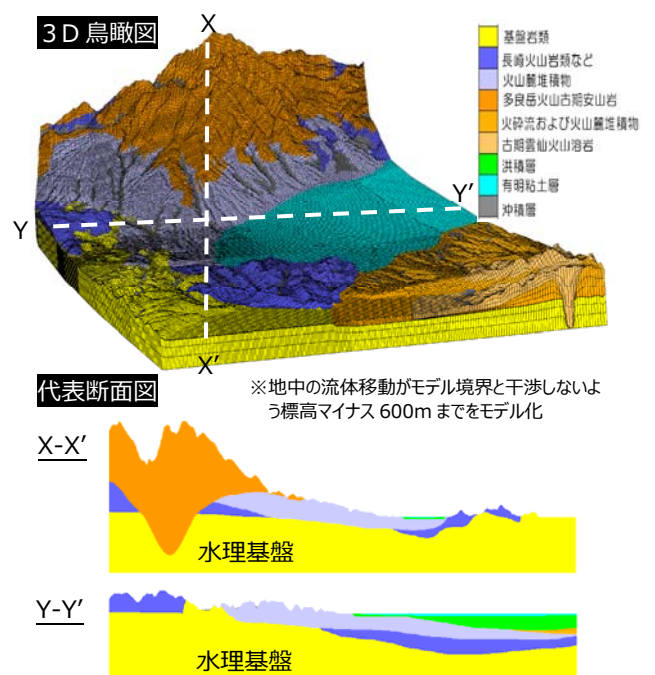
これら分析から得られた水資源量を上回る取水の状況や、地下水取水に呼応しているようにみえる流況変化から、人為的な地下水取水が河川流量に影響を及ぼすとともに、低水管理上のリスクを増加させることが懸念される。

3. 問題の機構解明に用いる解析モデル

既往の水文観測資料や水利用の実績資料等から推定した表流水と地下水の係わりを、3次元水循環解析を行うことで明らかとする。

3-1 水循環モデルの概要

解析では、以降の条件を勘案できる「統合型水循環シミュレータ」を用いた。



図－11 3次元水循環解析水理地質モデル

- ・ 特徴的な火山地形や地質を物理モデルとして 3 次元的に表現可能である。
- ・ 表流水と地下水の係わりに重要となる伏没、湧出の相互関係を完全連成で解くことができる。
- ・ 水利用の変化や気候の変動など、人為的、自然的な変動に伴う影響を考慮できる。

3-2 モデルの検証

モデルの検証計算に用いる気象条件は、平常時の状況に加え、渇水時のような極端な状況についても再現性を確保した解析モデルとなるよう、渇水年の平成 6 年と平水年の平成 7 年の 2 ヶ年とした。検証要素は、河川流量ならびに地下水位とし、低水管理に対する研究目的から概ね良好な再現性が得られたと判断した。

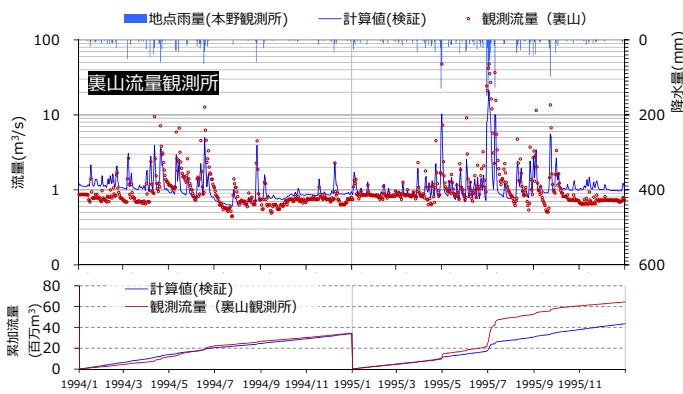


図-1-2 河川流量と累加流量の検証結果

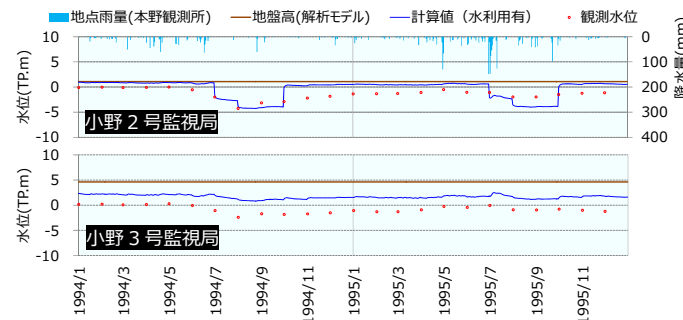


図-1-3 地下水位の検証結果

4. 水循環解析による問題の機構解明

4-1 水循環解析を通して明らかとする事項

本稿では、前述した既存資料から得られた複数の問題のうち、水循環解析を通して本明川流域の水循環機構の基本構造を把握したうえで、『河川流量に対して地下水がどのような役割を担っているか』について分析し、明らかとなった事項について以降とりまとめることとする。

4-2 解析条件

解析条件を表として、計算は日単位の非定常解析により行った。

表-3 解析条件

項目	条件	備考
気象外力	平成6年 平成7年	(渇水年) (平水年)
計算方法	非定常解析(単位:日)	蒸発散:ハーモン法
境界条件	平均潮位	諫早湾、橘湾、大村湾
水利用	H24-現在	

4-3 本明川流域の水循環構造

水循環解析を通して得られた本明川流域の水循環基本構造について以降に示す。

(1) 水の流動のしくみ

本明川流域の水理基盤を成す地層面の上部(基盤面上部付近と記す)における水粒子の動きを追跡した軌跡を図に示す。図中の赤線は地下水状態での流れを、青線は表流水としての流れを示す。

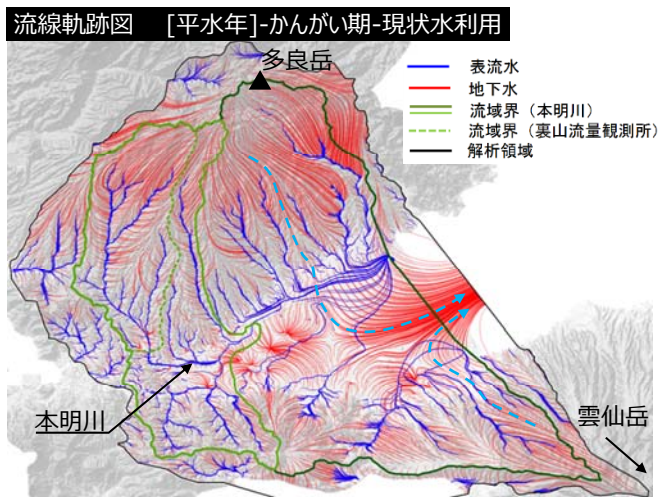


図-1-4 本明川水系の水循環構造(基盤面上部付近)

これより、下記が確認される。

- ① 多良岳や雲仙岳の山頂付近で地中に浸透した地下水が、山間の沢筋で湧出し各河川を形成する。
- ② 多良岳や雲仙岳山頂付近に浸透した地下水が調整池の地下を涵養している。

(2) 表流水と地下水の供給源

流域内において降雨が地下へ浸透し易く、地下水の涵養源となっている領域を図に示す。

これより、多良岳の山頂から中腹、ならびに雲仙岳の山腹一帯が地下水の涵養源としての機能が高いことが確認される。

これは、図に示す火山地形と地質に起因すると考えられ、特に「多良岳火山岩類(T3、T4)」は相対的に透

水性が高く、一方、中腹以下を広く覆っている「多良岳火山麓扇状地堆積物(vf)」は透水性が低い地質性状を示す。このため、多良岳を中心に噴出した火山岩類が降雨を地下へと良く浸透させ、多くの地下水を蓄えられる地質構造となっている。

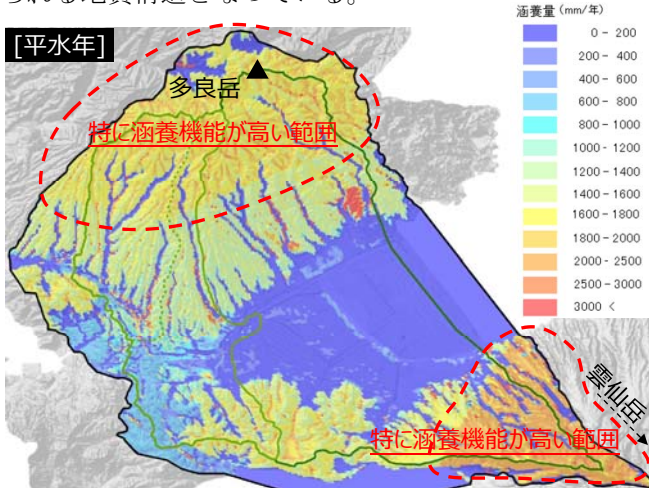


図-15 本明川流域の涵養域

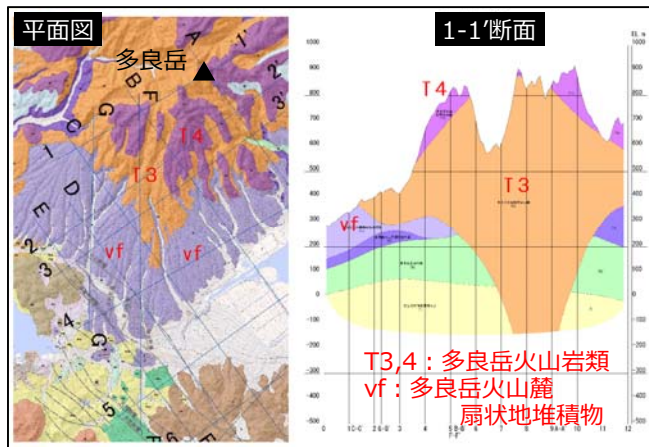


図-16 多良岳周辺地質図

(3) 流域全体の水収支

平水年における流域全体の水収支を図に示す。これは、本明川流域を一つの閉空間と見立て、この空間に対する水の出入りを示したものである。

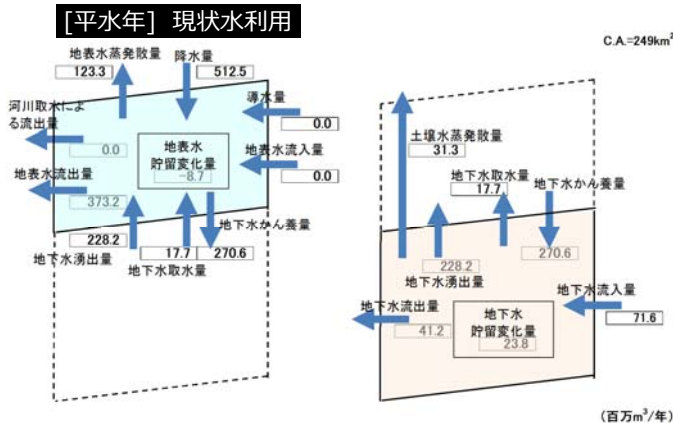


図-17 本明川流域全体の水収支

これより、本明川流域では、平年並みであれば、年間5億m³程度の降雨に対し、3割程度が蒸発散量として上空へ運ばれ、直接流出(地表水流出-地下水湧出)は2割程度と見込まれる。また、降雨量の約5割は浸透して地下水を涵養し、地下水を豊富に蓄えている状況が窺える。

4-4 河川流量に対する地下水の役割

裏山流量観測所の観測資料から確認された高い流出率を示す流出機構について分析を行う。

(1) 水の流動のしくみ

裏山流量観測所より上流域の水利基盤面上部付近における水粒子の動きを追跡した軌跡を図に示す。

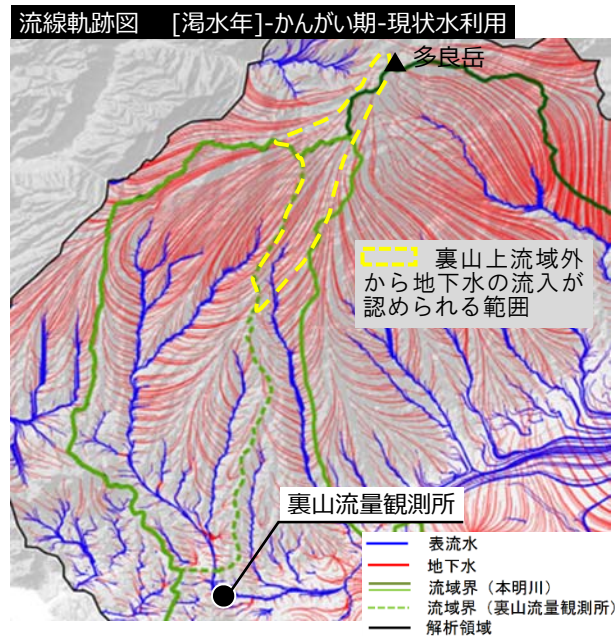


図-18 裏山上流の水粒子の動き(基盤面上部付近)

これより、下記が確認される。

- ① 裏山流域に対して分水嶺を跨いで地下水が流れ込む様子が確認される。
- ② 流線の軌跡から多良岳山頂付近を起源とし、河川へ到達した地下水は川となって流下する。

(2) 流域水収支のしくみ

裏山地点から上流の流域水収支を図～図-20に示す。平水年と渇水年で比較することにより、下記が確認される。

- ① 蒸発散量の降雨量に対する割合は、平水年は約30%、渇水年は約50%に達する。
- ② 渇水年は蒸発散の影響がより強くであるにも関わらず、地表水流出量は降雨量比で約90%であり、平水年の約60%を上回る。
- ③ 流域外からの地下水流入がみられ、渇水時において

も平水時と同量の供給がある。

- ④ 渇水時は、平水時に比べ降雨量の絶対量が少ないにも係わらず、地下水の河川への供給となる地下水湧出量は、平水時以上の供給がみられる。

これらの状況は、地下水貯留変化量の値にみられるように、渇水時には、平常時に貯留している地下水を用いて河川流量を補う機能によるものである。

- ① 多良岳や雲仙岳の山頂付近で中に浸透した地下水が、山間の沢筋で湧出し各河川を形成するとともに、調整池の地下と連続し涵養している。
- ② 多良岳の山頂から中腹、ならびに雲仙岳の山腹一帯が地下水の涵養源としての機能が強く、今後も機能保全に配慮することが重要である。
- ③ 本明川の河川流量は、地表の分水嶺を越えた地下水供給と、平常時に地下に蓄えた地下水を渇水時に供給する自然の流況調整機能により維持されている。

5. おわりに

本明川流域を対象とした本研究では、川の水は地下を通して多良岳の山頂から諫早平野まで広域に繋がっており、地下水が河川流量を支えていることが明らかとなった。これは、本明川流域で特徴的な、地下水を豊富に蓄えることができる火山性の地質構造や地形に起因していると考えられ、他の河川でも同様に表流水と地下水の応答関係が強いとは限らない。しかし、川の水が絶えず脈々と流れていることは、地下水との関係性を示すものであり、時には流域を越す3次元的な空間の広がりの中での水循環と水利用の係わりを捉えたうえで、低水管理の今後を考えることが、特に重要であると考えられる。

最後に、研究にあたり長崎河川国道事務所調査第一課ならびに、長崎県、諫早市の関係部局の皆様には、多大なるご協力とご指導を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- 九州地方整備局：有明海・八代海 流入一級河川水質等データ
- 諫早市ホームページ：諫早市政要覧 2013
諫早市ホームページ：諫早市の地下水採取状況
雲仙市ホームページ：雲仙市水道ビジョン(H21. 3)
- 九州農政局：諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環境影響評価書(H24. 11. 22)
- 国土交通省水管理・国土保全局：水文・水質 DB
- 諫早市：水道施設資料

[平水年] 現状水利用

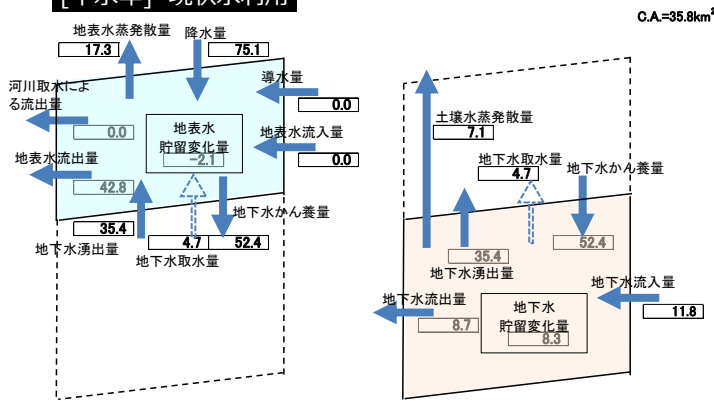


図-19 裏山地点上流域の水収支 (平水年)

[渇水年] 現状水利用

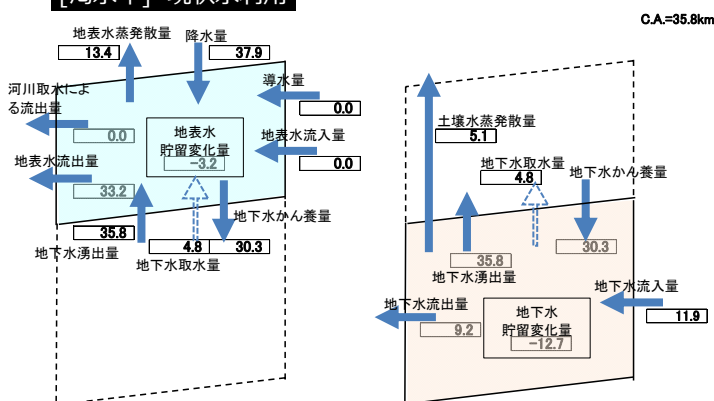


図-20 裏山地点上流域の水収支 (渇水年)

これらの分析より、本明川の河川流量は、地表の分水嶺を越えた地下水供給と、平常時に地下に蓄えた地下水を渇水時に供給する自然の流況調整機能により維持されており、地下水との係わりが深いと言える。

4-7 本明川水系の水循環機構のまとめ

研究では、本明川流域全体の水循環機構を、解析を通して推算できる水循環解析モデルの基本形を構築し、様々な情報を分析・視覚化することで、河川管理においてあまり意識されてこなかった地下水と本明川との係わりを以降の通り明らかとすることができた。