

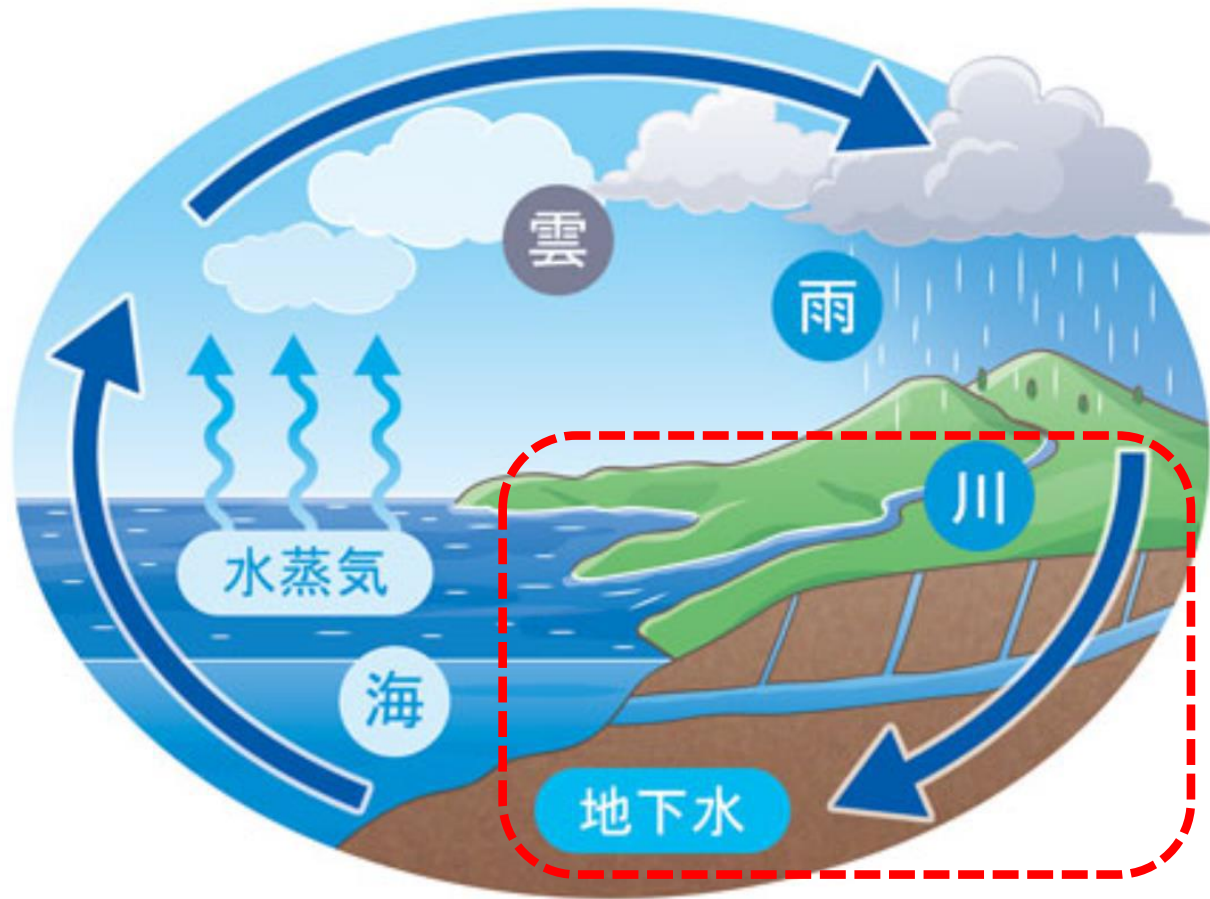
「水のめぐりを知り、水循環 の維持向上を考える」

～ 河川における湧水について ～

東京都環境科学研究所 平野

2023/10/16

水の循環と河川水・地下水



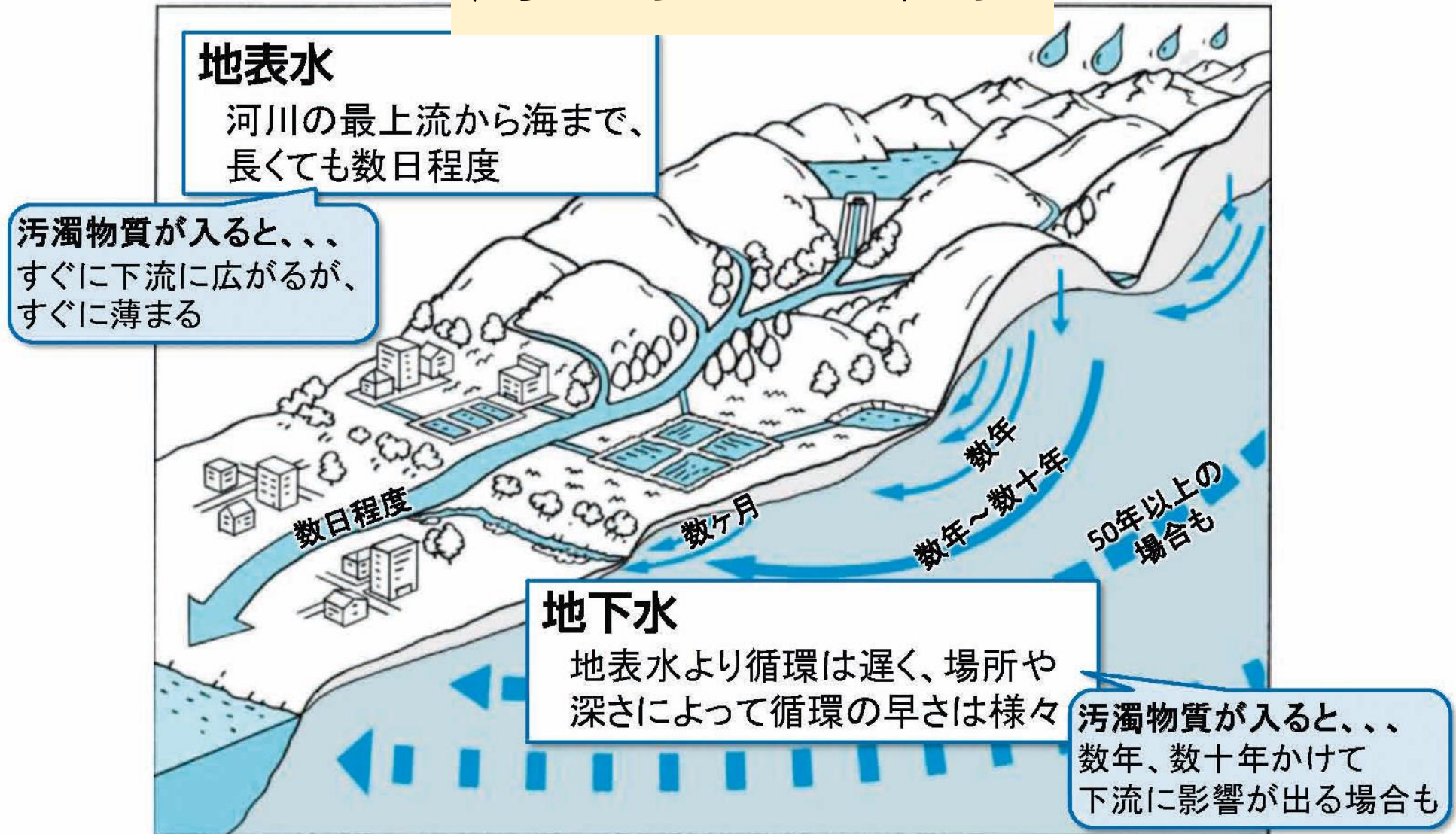
- 河川水と地下水も地球規模の水循環の一部です
- 河川水と地下水は、地形や降雨の状況により、条件づけられ、相互に影響しあっています。

発表内容

- (1) 河川流量から見た地下水・湧水
- (2) 河川と湧水のかたち
- (3) 地下水と湧水の水質形成

(1) 河川流量から見た地下水・湧水

河川水と地下水

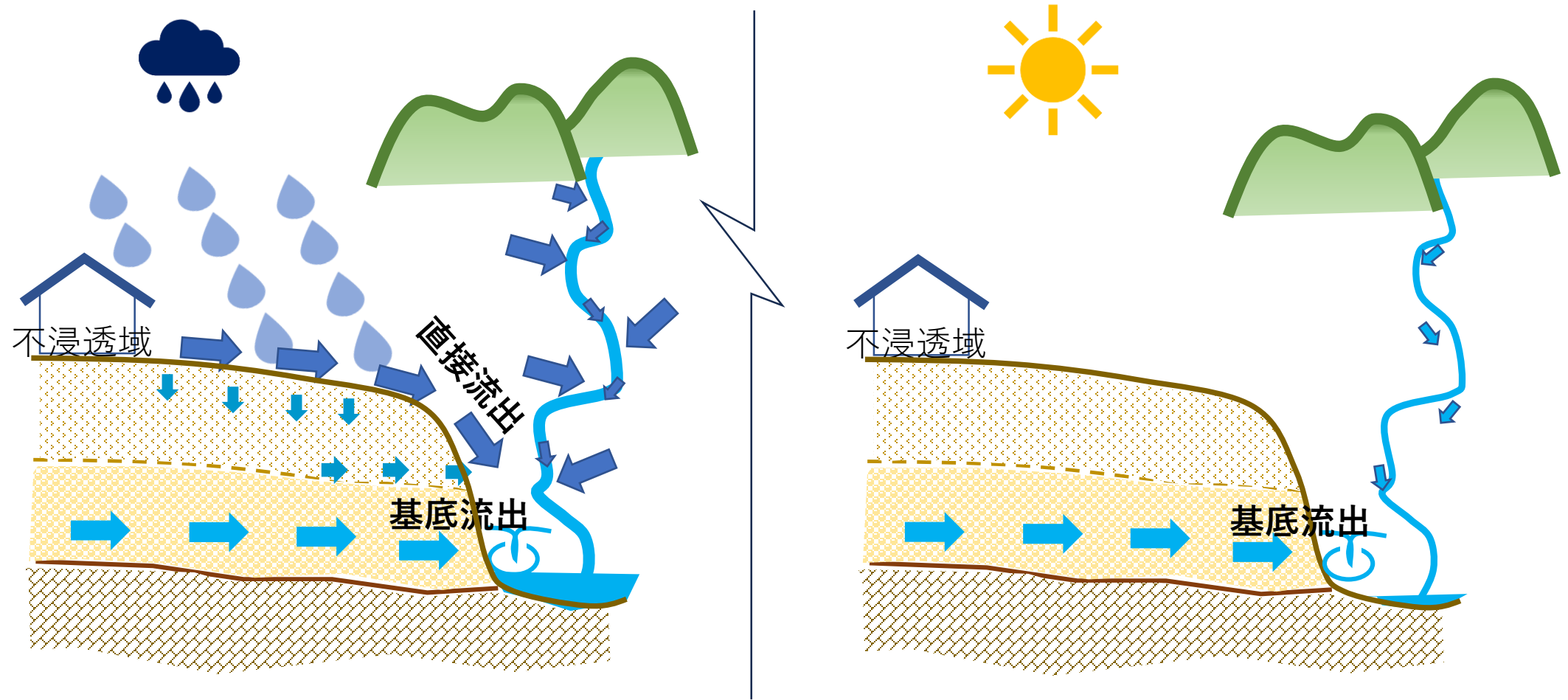


晴天時の河川流量を構成するもの

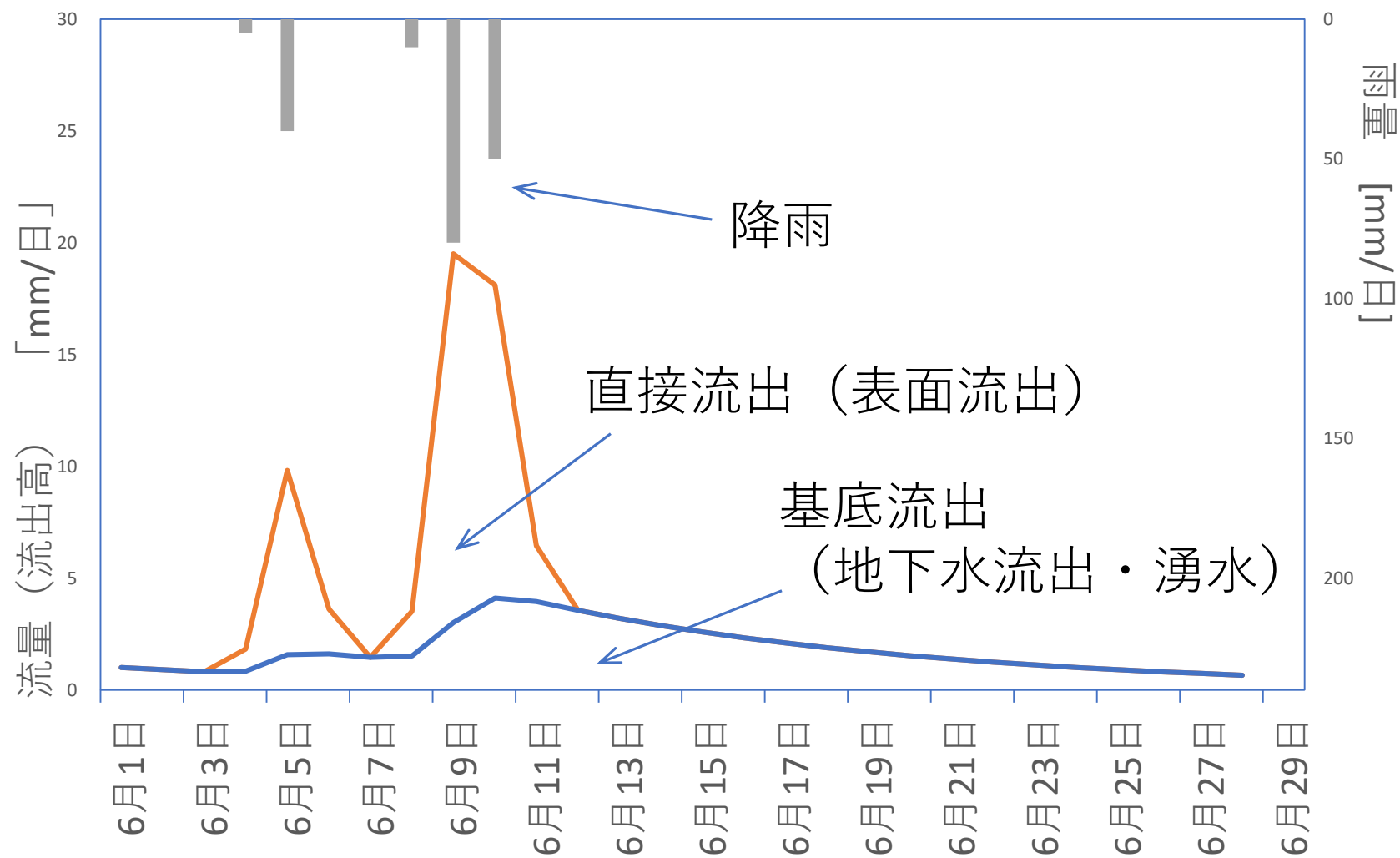
- 日本の河川では地表流は河川の上流から海まで数日で到達
河川水の速度：数キロm～数十キロm／日
地下水の速度：1 m～100 m／日
- 晴天時（降雨後数日以降）の河川水（基底流出）は
湧水・地下水流出

（大きな河川を考える場合、ダム、池沼、農業用水、生活排水・工場排水、水道施設、下水道施設らの貯留・排水も作用する。）

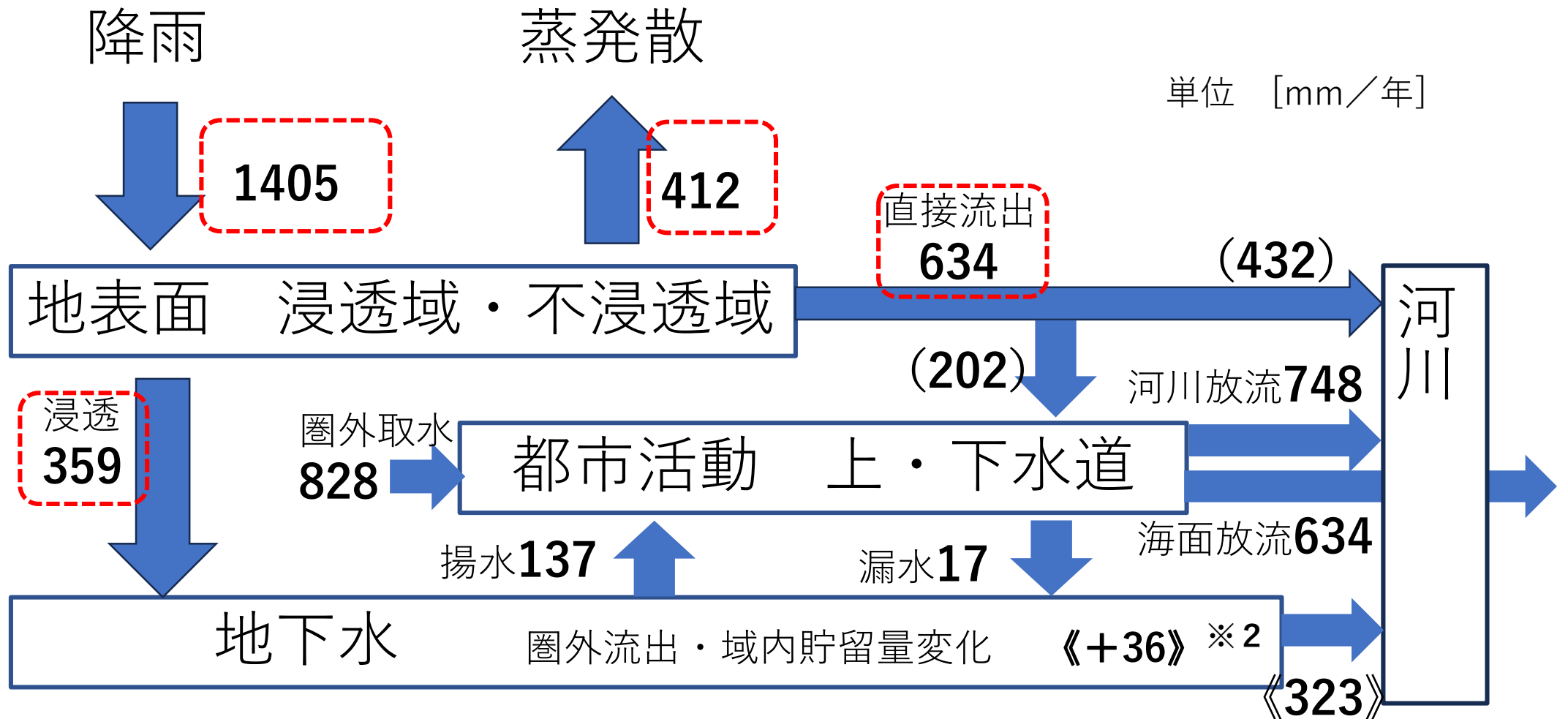
河川流量の模式



ハイドログラフ（流量の時系列での図示）



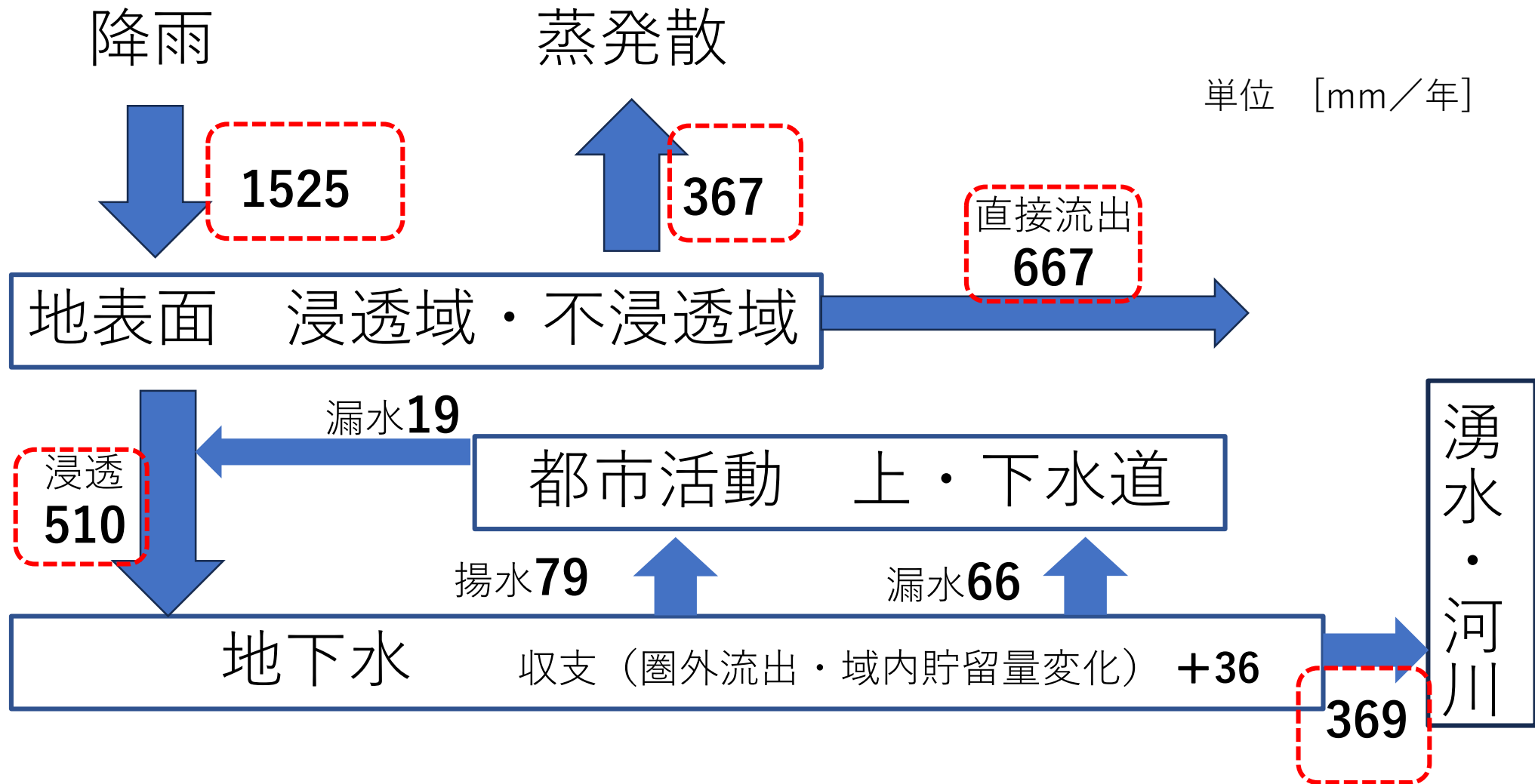
東京の水収支



「東京都水循環マスタープラン」(東京都都市整備局 H11)より作成

※2 平成27年度地下水対策検討委員会のまとめ(H28.7)より補完して計算

東京の水収支（その2）

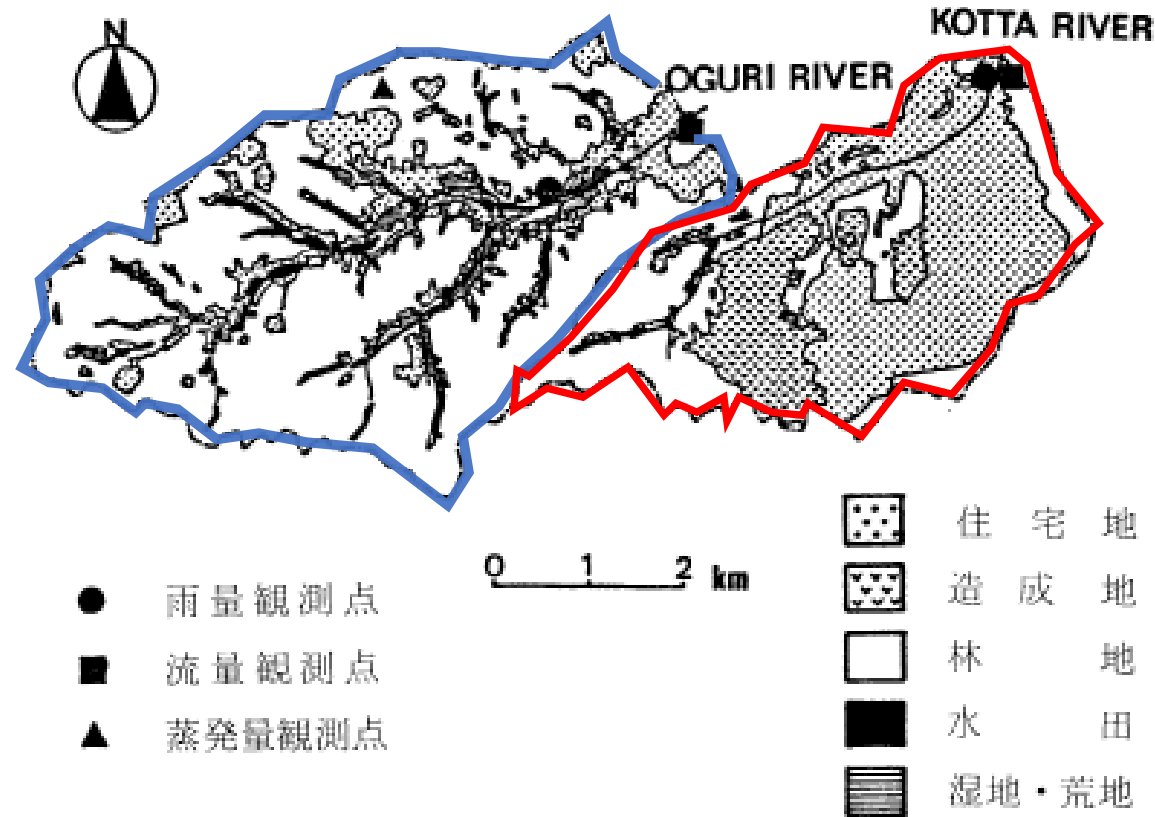


「平成27年度地下水対策検討委員会のまとめ」（H28.7）より東京都の面積を2,194km²として計算

都市河川の年間水収支(多摩丘陵の事例)

(1) 浸透域の多い大栗川流域(自然流域)

(2) 浸透域の少ない乞田川流域(都市流域)



大栗川と乞田川の土地利用(1979年)

「流域の都市化に伴う水文環境アセスメントに関する一考察」(安藤1981)より

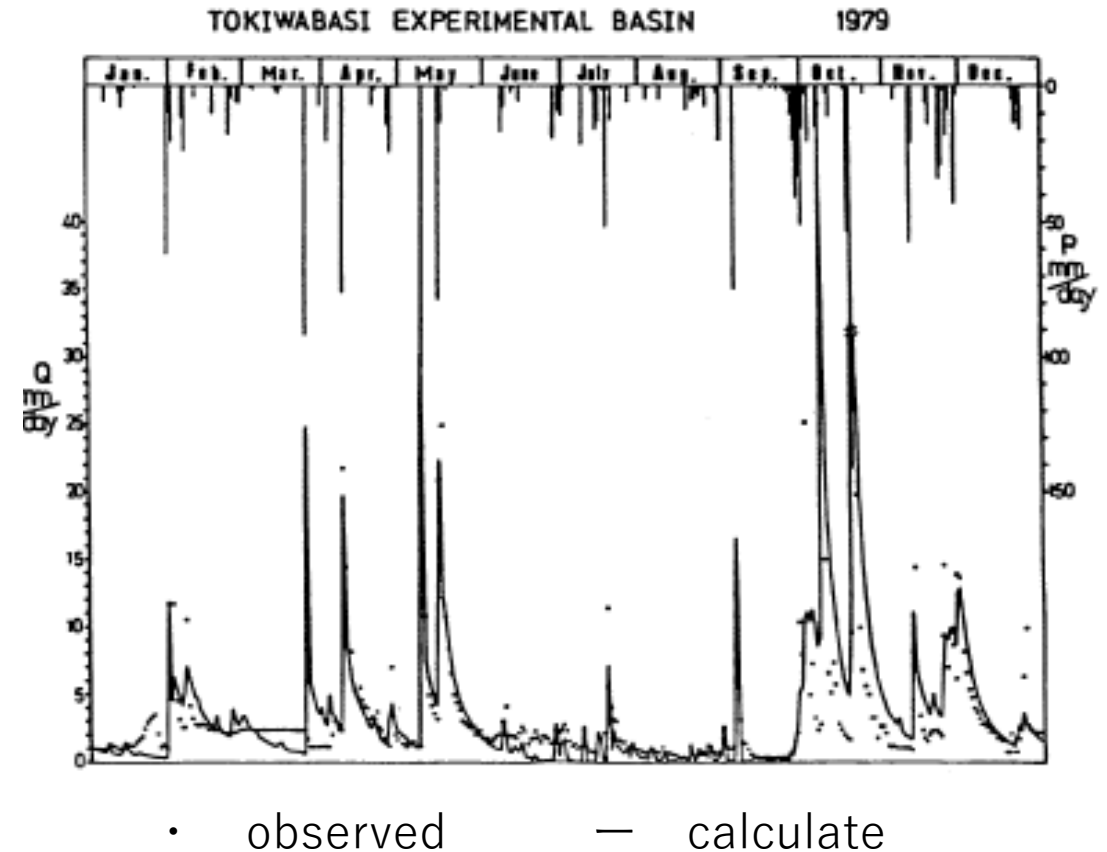
都市河川の年間水収支(多摩丘陵の事例)

(1) 浸透域の多い流域(自然流域)

大栗川流域の水収支(1979年)

	降水量	蒸発散	直接流出	基底流出
水収支 [mm/年]	1835	606	330	881
(%)	100	33	18	48

土地利用	面積km2	(%)
水田	1.41	6.7
畑・荒地	2.05	9.8
造成地	1.77	8.5
住宅地	4.46	21.2
山林	11.23	53.7
合計	20.92	100



「流域の都市化に伴う水文環境アセスメントに関する一考察」(安藤1981)より

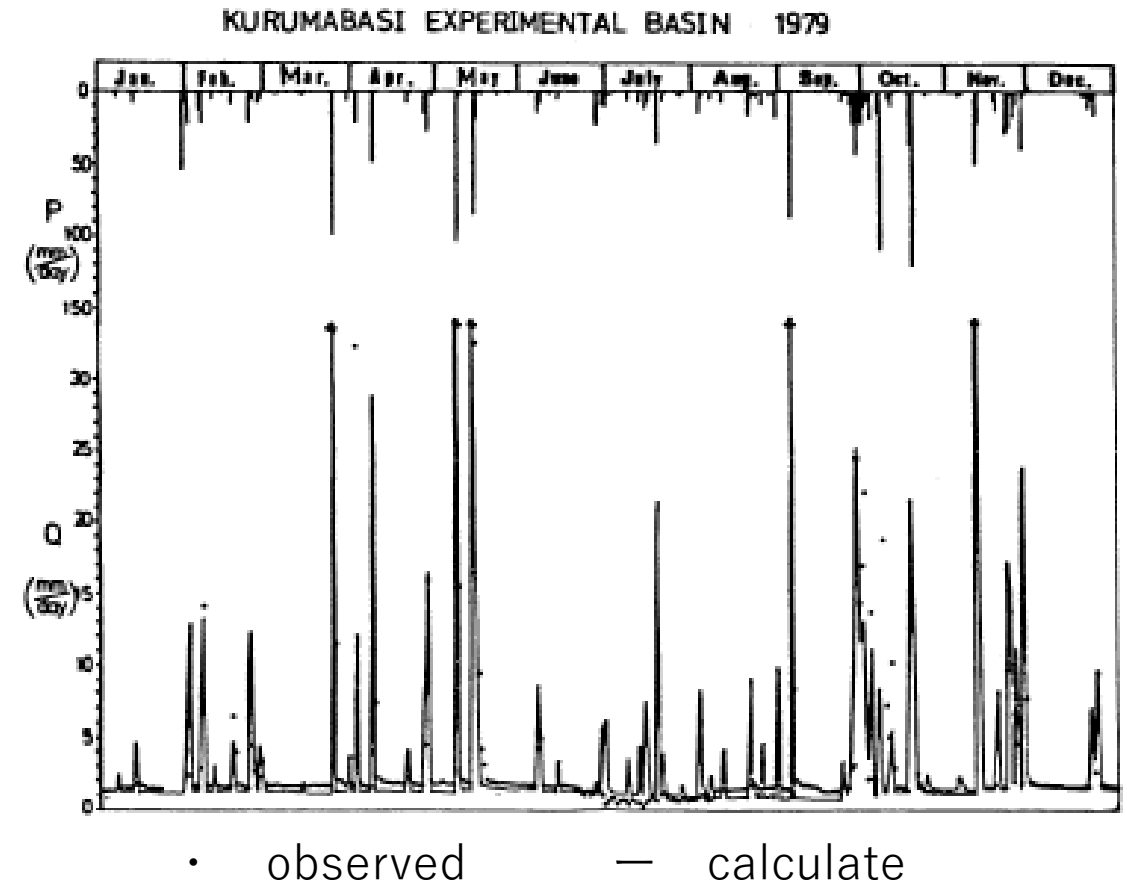
都市河川の年間水収支(多摩丘陵の事例)

(2) 浸透域の少ない流域(都市流域)

乞田川流域の水収支(1979年)

	降水量	蒸発散	直接流出	基底流出
水収支 [mm/年]	1706	358	870	444
(%)	100	21	51	26

土地利用	面積km ²	(%)
住宅地	4.87	36.2
道路など	0.84	6.2
造成地	4.36	32.4
畑・荒地	0.4	3
山林	3	22.3
合計	13.47	100



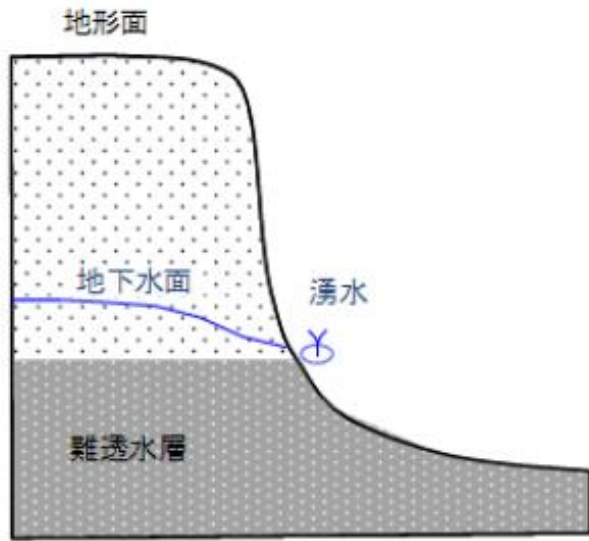
「流域の都市化に伴う水文環境アセスメントに関する一考察」(安藤1981)より

河川流量から見た地下水・湧水（まとめ）

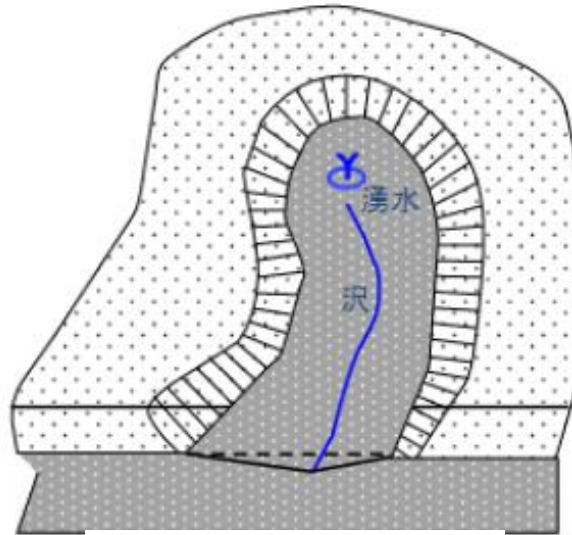
- 晴天時の流量を構成するのは湧水である
- 豊かな湧水・基底流出のためには流域の保全、すなわち浸透面積の確保が重要

(2) 河川と湧水のかたち

河川へ湧水するかたち

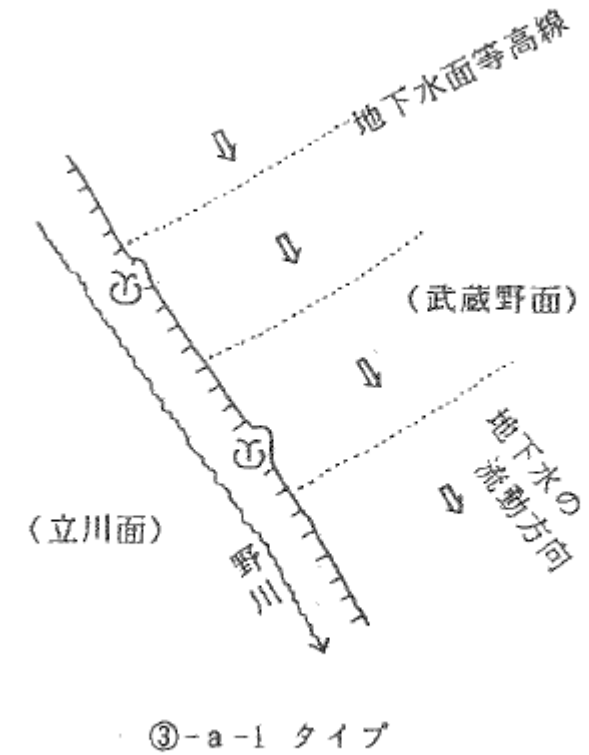
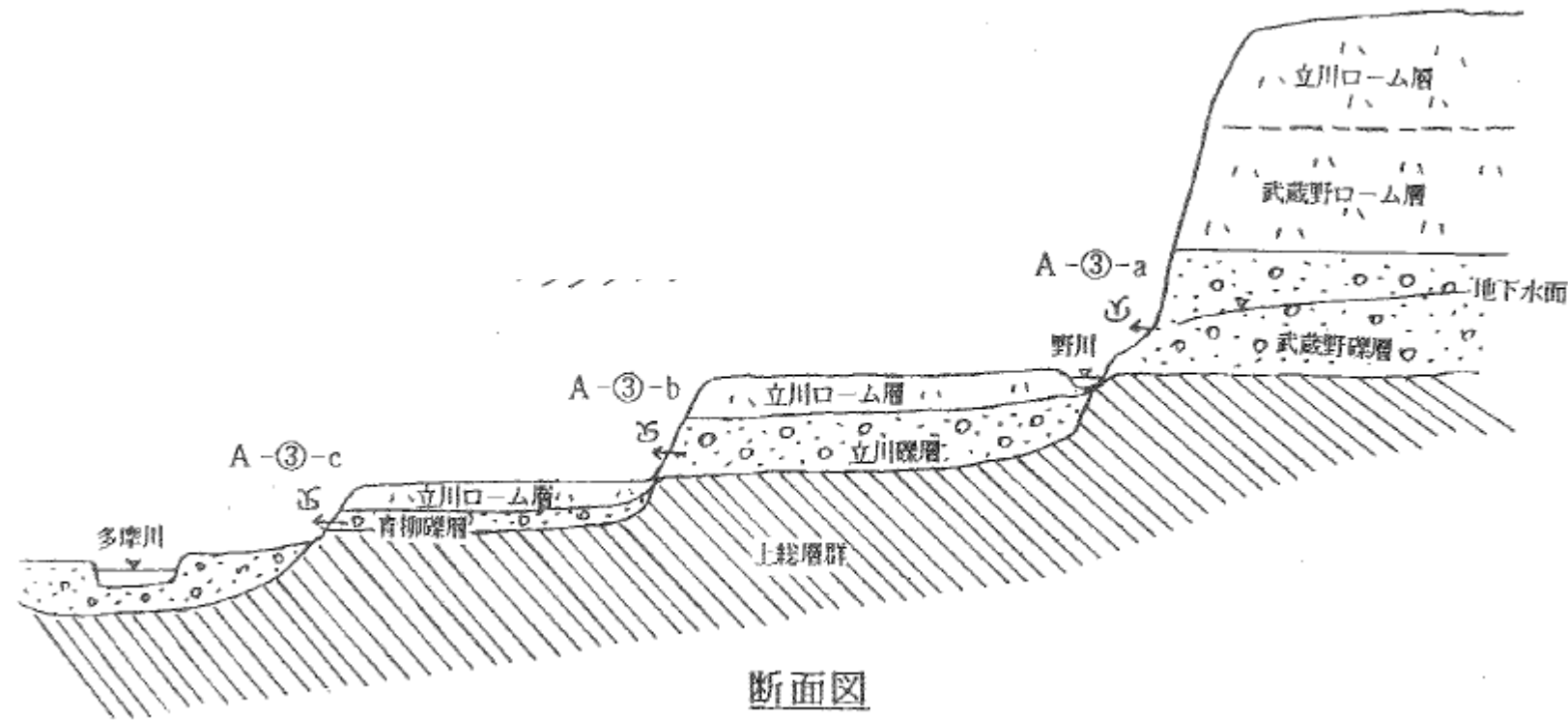


崖線型



谷頭型

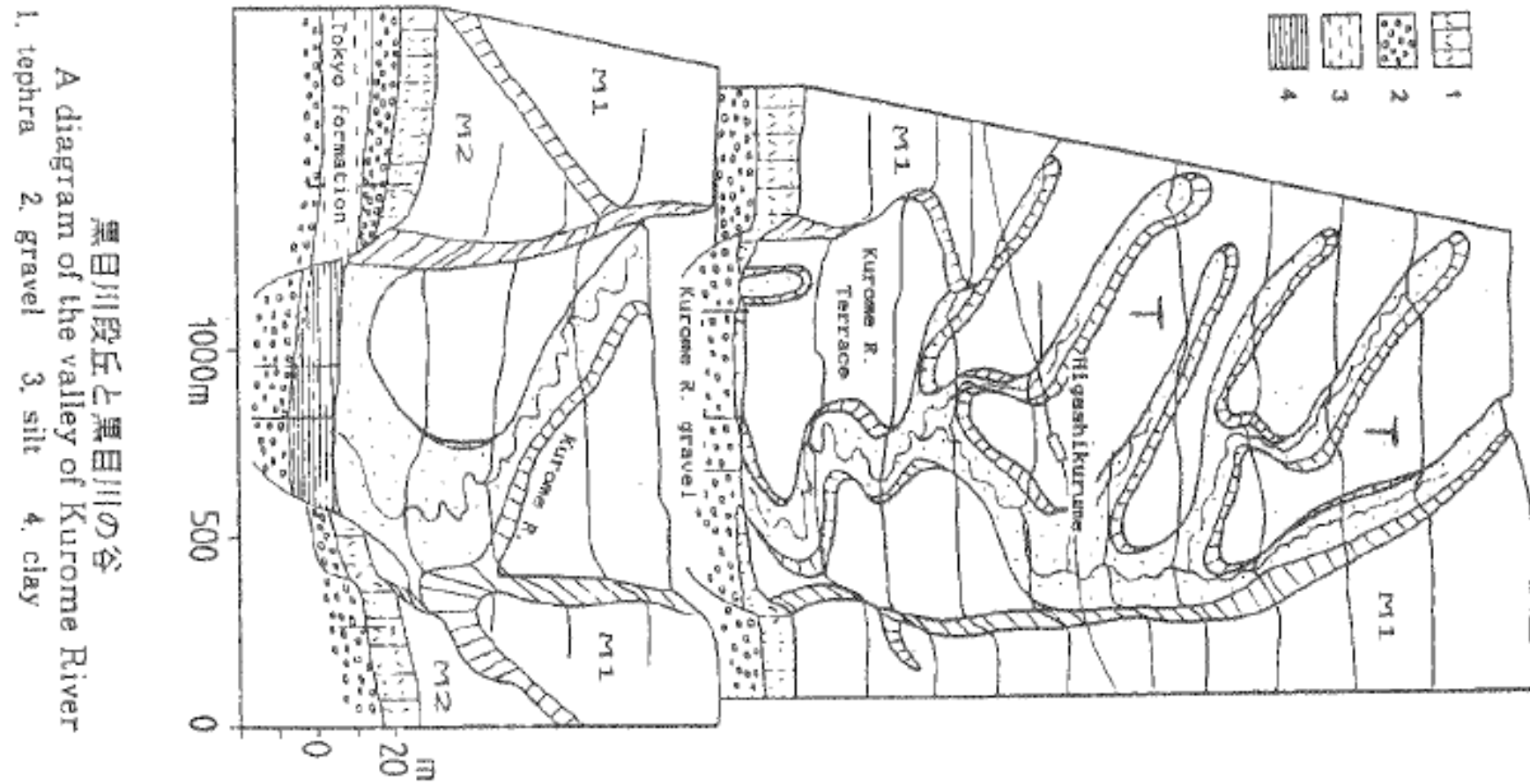
崖線型



平面図 (田中原図)

「多摩川水系の地表水と地下水の交流に関する研究」 榎根 (1994) より

谷頭型



「多摩川水系の地表水と地下水の交流に関する研究」 榎根（1994）より

湧水口からの湧出・河床等への湧出



- ・ 明確に湧出口が見えない湧き水もある。

河川水と地下水の交流のかたち

周辺の地形・地質、地下水位により河川への伏流の影響が異なる

河川のある区間を見たとき、区間上流より下流側で流量が

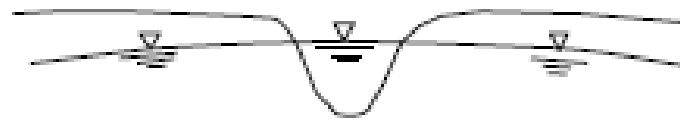
減少する河川を**失水河川（失水河流）**

⇒ **河川が地下水を涵養**

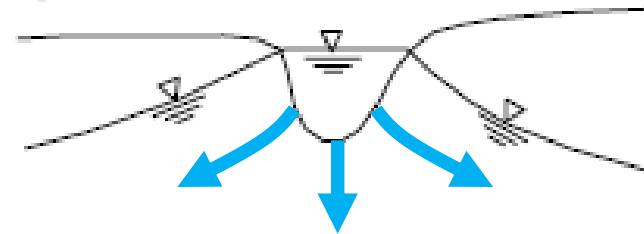
増加する河川を**得水河川（得水河流）**

⇒ **湧水・伏流水が河川を涵養している**

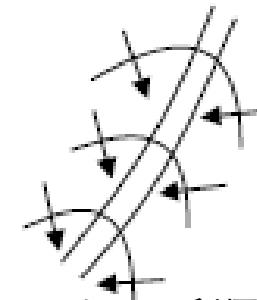
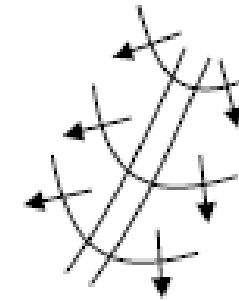
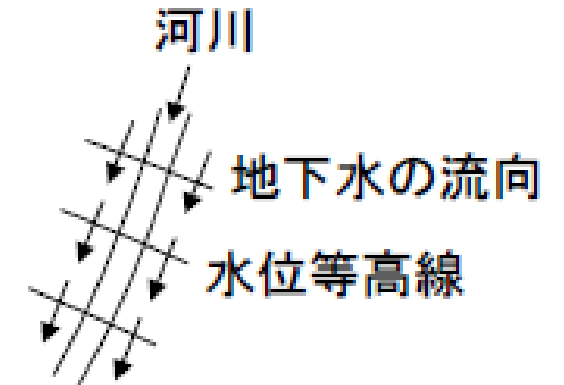
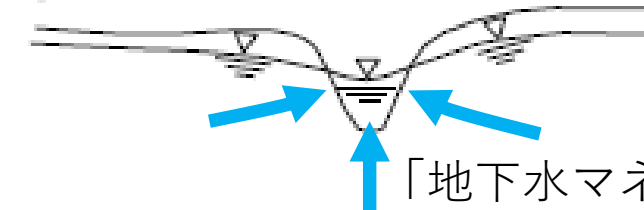
①平衡河流



②失水河流



③得水河流



湧出口からの湧きだし（例）



諏訪神社の湧水

河川への直接湧きだし（例）



目黒川

得水河流と失水河流の空間分布

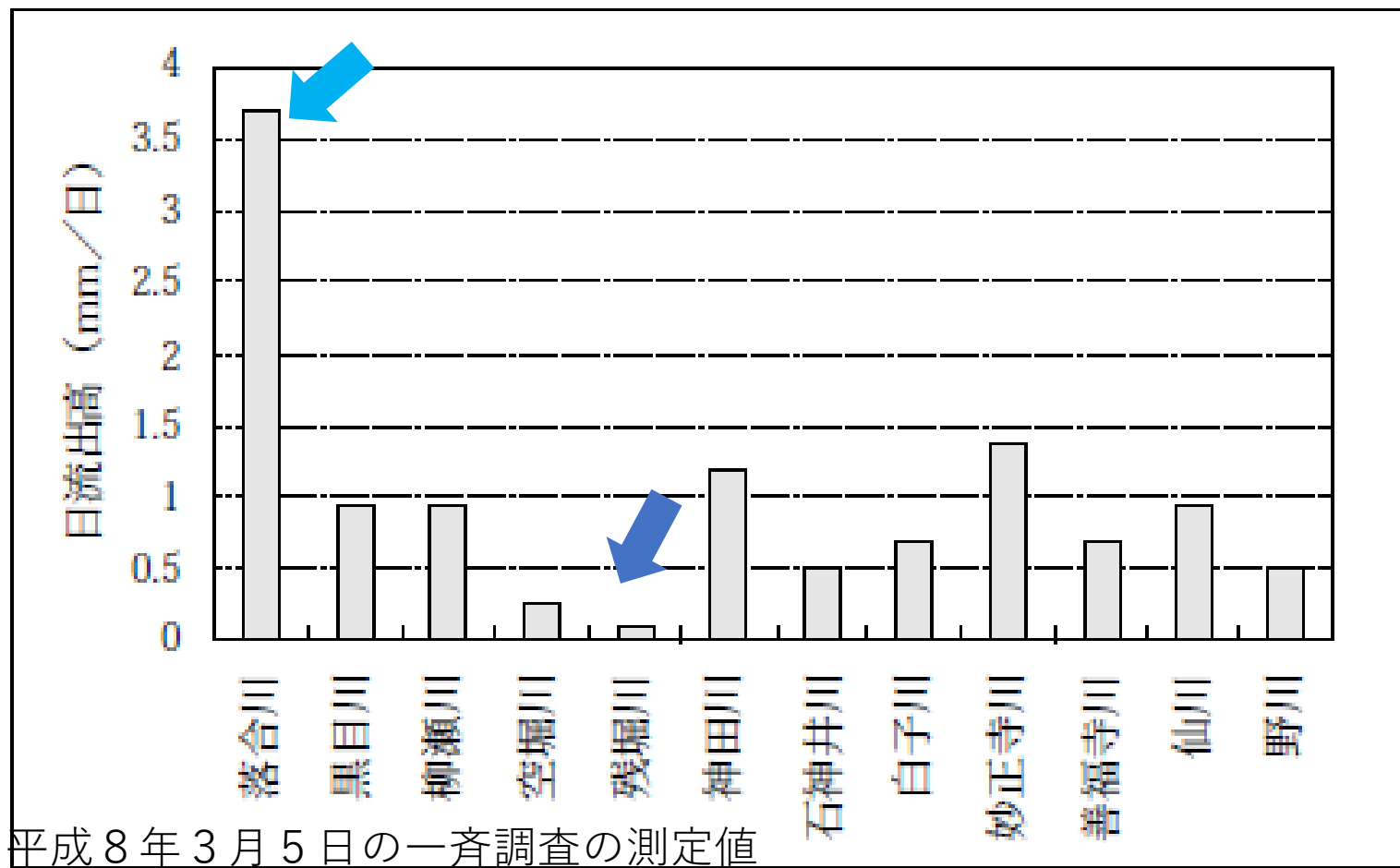


一般に扇状地では、山からの溪流水を扇頂部で再涵養（失水河流）し、扇端部付近で湧出（得水河流）する

と考えられているが

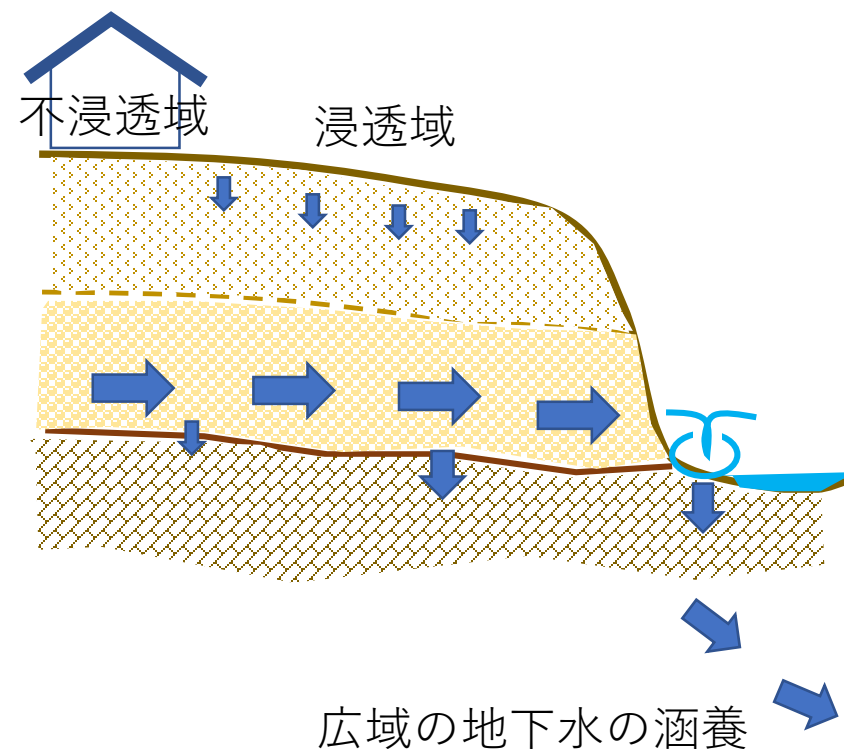
実際は、地形だけではなく、河床周辺の地層等の地質的条件により異なる

台地部の中小都市河川の基底流量



・ 落合川は基底流量が多い
⇒ 豊かな湧水が河川水を構成

・ 空堀川、残堀川は少ない
⇒ 広域地下水の涵養源



「東京の地下水と水循環について」 (國分ら2003年) より

河川と湧水のかたち（まとめ）

- 河川水と地下水・湧水の関係は、地形によって様々な形がある。
- 湧水が河川水を涵養するものもあれば、河川水が地下水を涵養しているものもある。
（それぞれ、河川環境用水の確保という意味と、広域地下水の涵養と言う意味で重要な意味を持つ）

（３）地下水と湧水の水質形成

地下水・湧水の水質形成

● 鉱物由来の成分

鉱物の風化により溶け出す各種の陽イオン、陰イオン成分

Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 S^{2+} 、 SO_4^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SiO_2 等

● 人為起源の成分

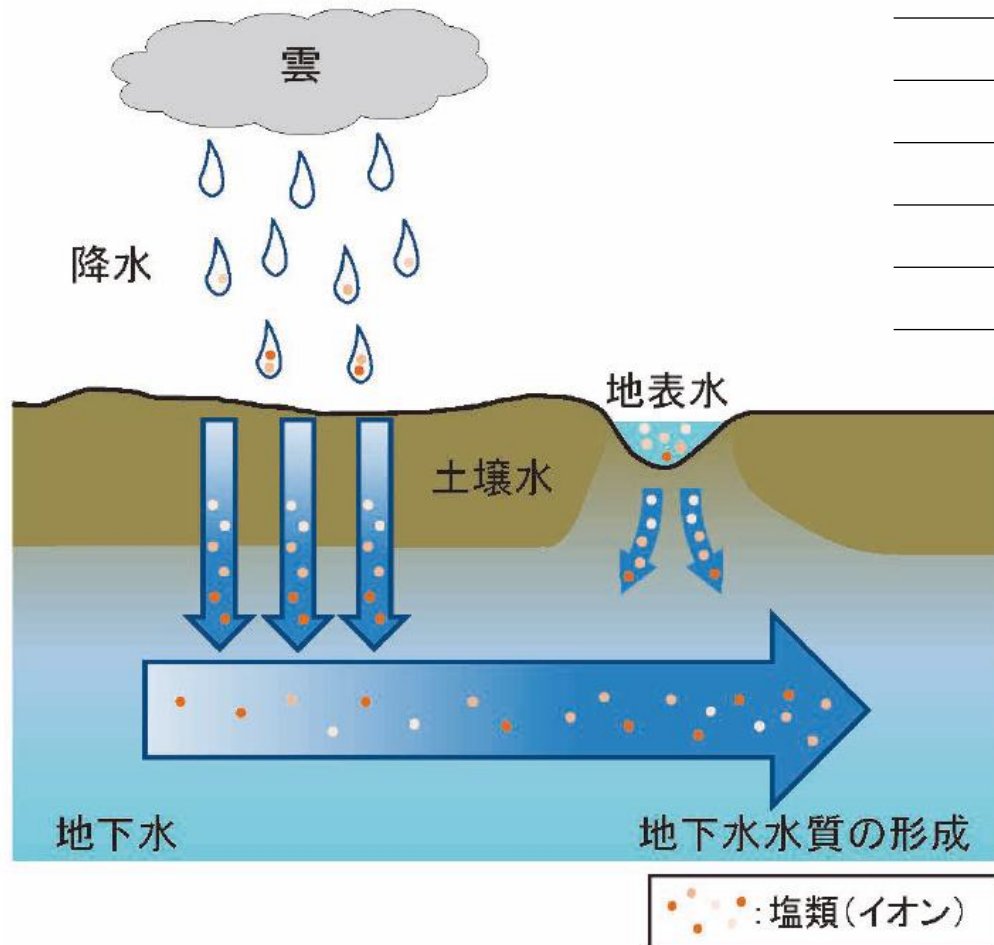
生活排水、農業の影響による成分

Cl^- 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3+} 、 K^+

工業的に合成された化学物質

TCE、PCE 等

地下水の水質



日本の降水の平均濃度[mg/l]

Na	1.1
K	0.26
Mg	0.36
Ca	0.97
Cl	1.1
SO ₄	4.7
SiO ₂	1.78

日本の河川の平均的濃度
(中央値) [mg/l]

Na	—
K	—
Mg	3.2
Ca	9
Cl	9.6
SO ₄	9
SiO ₂	13

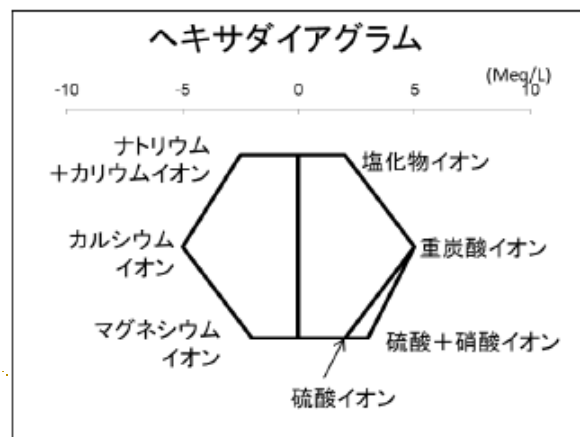
日本の地下水の平均的濃度
(中央値) [mg/l]

Na	—
K	—
Mg	5.4
Ca	15
Cl	14
SO ₄	12
SiO ₂	17

半谷・小倉 (1985) より

鉱物由来の水質形成

Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 S^{2+} 、 SO_4^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^-



若い地下水



カルシウム重炭酸型

- ・全体に金属イオンの濃度が低くカルシウム重炭酸型となる
- ・弱酸性
- ・好氣的
- ・ PO_4^{3-} や NH_4^+ はほとんど検出されない

古い地下水



ナトリウム重炭酸型

- ・金属イオンの濃度が高くナトリウム重炭酸型となる
- ・アルカリ性となる
- ・貧酸素
- ・ Fe^{2+} 、 H_2S など汲み上げて、しばらくして、水質変化を起こす

武蔵野台地の湧水は若い地下水に該当
(古い地下水は、低地部の深層の地下水など)

鉱物由来の水質形成

Si、SiO₂

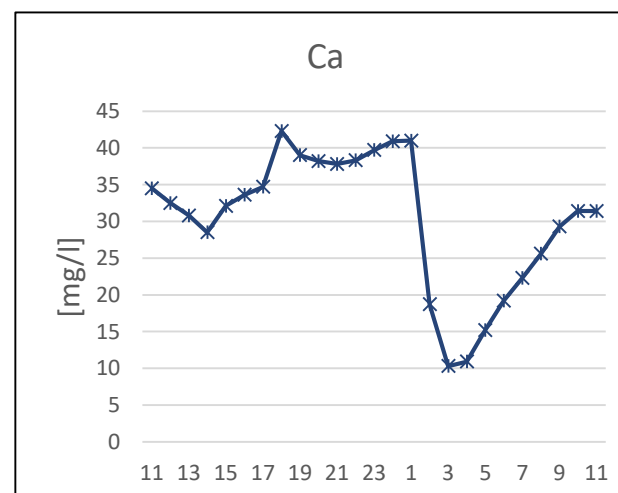
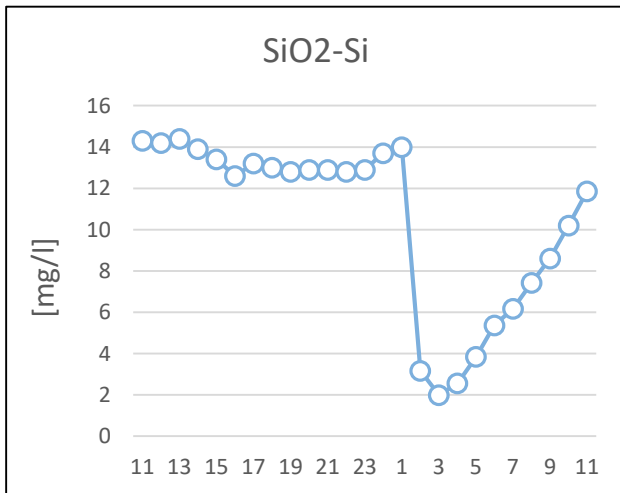
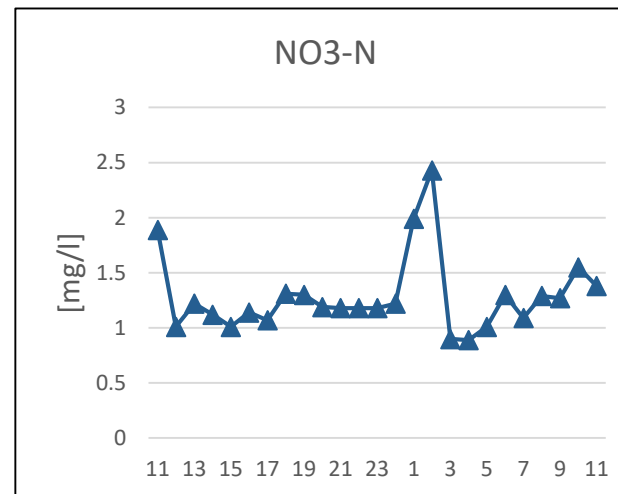
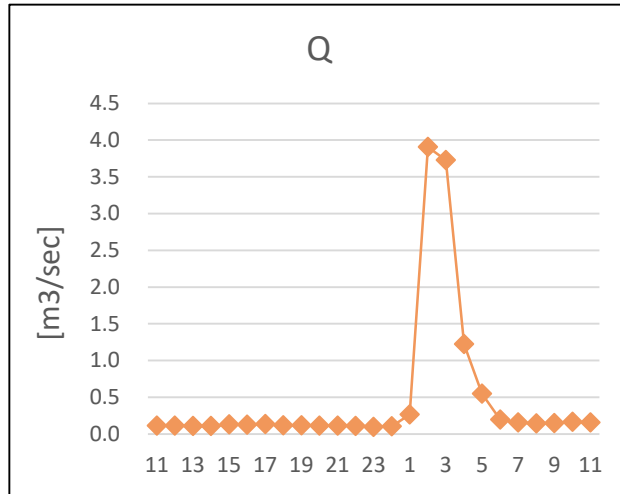
- ・ 鉱物の主成分で、地下水に特徴的な成分
- ・ 河川水中では低濃度
(沈降、珪藻による吸収、ダム・降水による希釈により低濃度)
- ・ 生活排水などの影響を受けにくい

➡ Siは地下水、地質の指標となる

水への溶出の一例（カリ長石の分解反応）



(例) 雨の影響による地下水の希釈



- 観測期間に9.0mmの降雨により表面流出が発生
- 流量増加に伴い、ケイ素 (SiO₂) は、地下水が希釈される効果が明確
- 他の成分は、地下水以外の影響（生活排水、道路のダストなど）により希釈効果が不明確

多摩丘陵乞田川の1992年8月11日のデータ

人為由来の水質

塩化物イオン Cl^-

雨水中平均で	1 mg/l
風送塩の影響は	3～4 mg/l
岩石からの溶けだしは、	1 mg/l 程度

都内の丘陵地森林流域の溪流の濃度は、3～6mg/l 程度

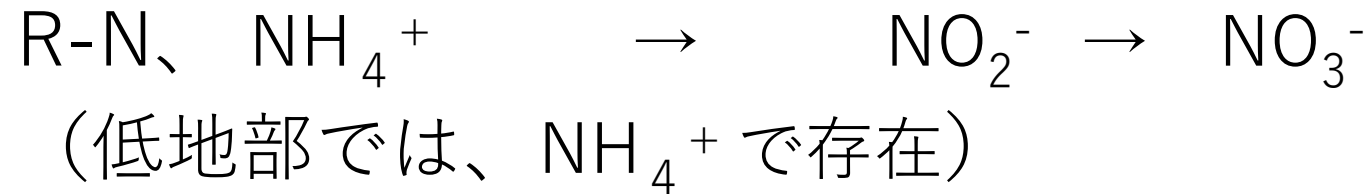
⇔ 一方、人は一日に10,000mgから20,000mgの食塩を摂取・排出

浅井戸・湧水では、10mg/l 以上の塩化物イオンは人為由来の影響
(深層地下水や、岩塩、海水の影響のある特別な地域を除く)

人為由来の水質

硝酸、亜硝酸、アンモニア NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+

農業の施肥、畜産、生活排水 等

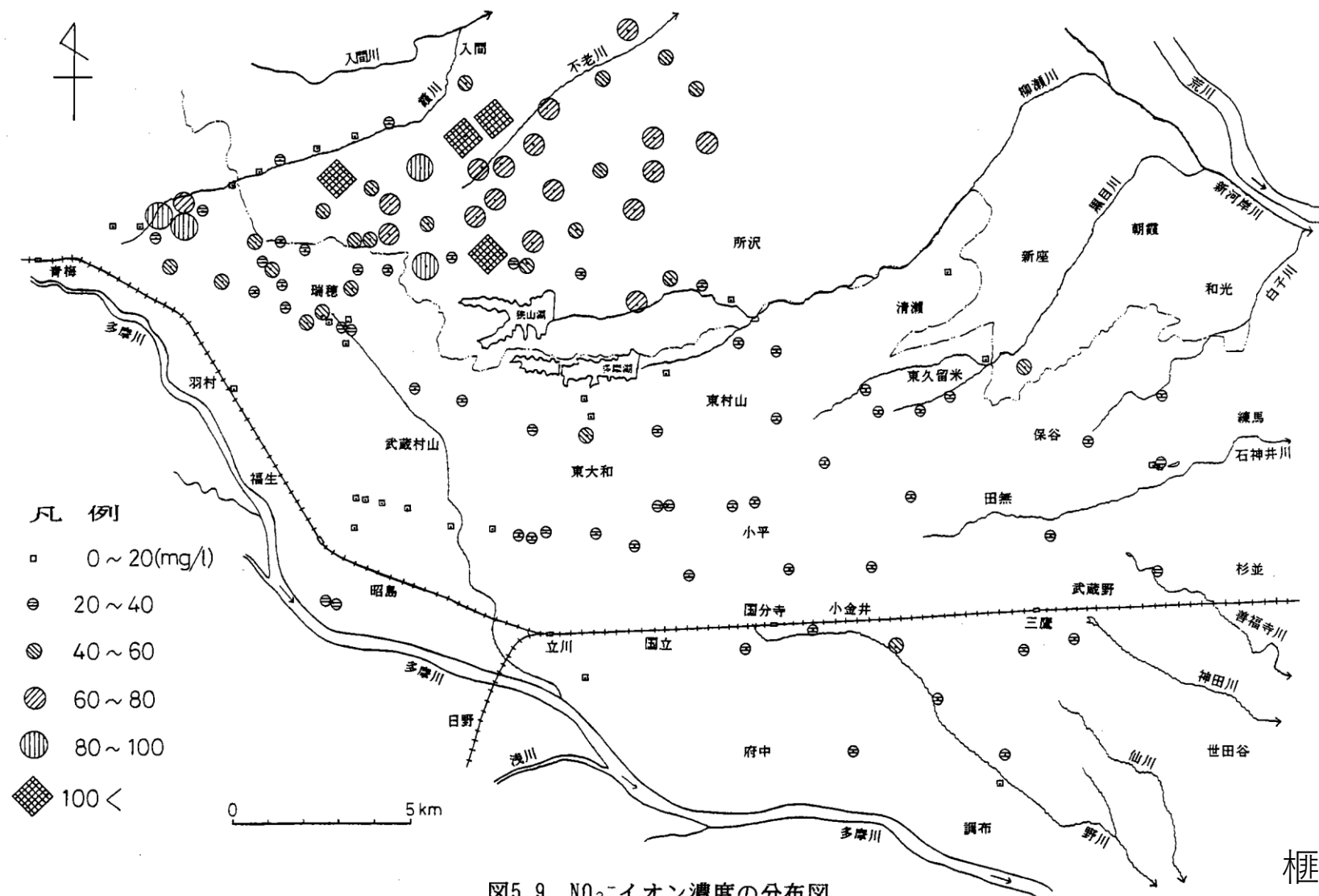


⇔ **森林等による生成**



汚染の無い渓流水では、 NO_3^- -Nで 1mg/l 程度以下

武蔵野台地の硝酸濃度の例



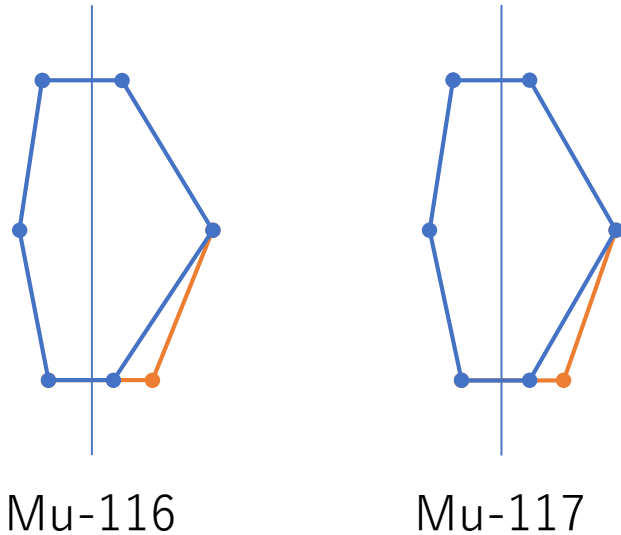
榎根ら1994年

図5.9 NO_3^- イオン濃度の分布図

落合川の湧水水質

所在地			測定日	湧水量	水温	電導度	pH	Mg	Ca	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃ -N	SiO ₂
								mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Mu-112	竹林公園北側	東久留米市南沢	99/5/29	239	16.1	245	6.5	8.3	16.8	14.2	0.8	46.9	12.6	15.1	7.2	24.5
Mu-116	南沢緑地保全地域内	東久留米市南沢	99/5/29	780	16.6	255	6.8	7.3	20.1	15.3	0.9	51.0	14.3	14.7	7.6	23.7
MU-117	市営第1給水場	東久留米市南沢	99/5/29	485	16.7	270	7	7.3	21.7	16.1	1.1	52.4	20.2	15.0	7.2	23.1
Sa-27	秋津公園	東村山市秋津町	99/5/29	40	16.6	262	6.6	9.7	13.6	16.0	0.5	41.4	24.4	15.1	8.0	23.9

「東京都の湧水の現況」（上田ら2000）



- ヘキサダイアグラムは典型的な若い地下水に見られるカルシウム・重炭酸型
- SiO₂濃度は全国平均より高いが、都内では平均的な値
- Cl⁻、NO₃⁻に人為的な影響が見られる

ご清聴ありがとうございました