

4. 湧水量の経年変化に関する考察

4.1 既往資料に基づく湧水量の経年変化

東京都は、都内の代表的な湧水点において、定期的に湧水量と水質の測定を行っており、国立市内ではママ下湧水が測定対象となっている。これ（図 4-1）によれば、水温は18℃前後、pHは6.5前後、電気伝導率は25～30mS/mで安定している。一方、湧水量は季節的な変化が大きく、測定期間が平成年代に限られ、湧水量の経年変化は読み取れない。

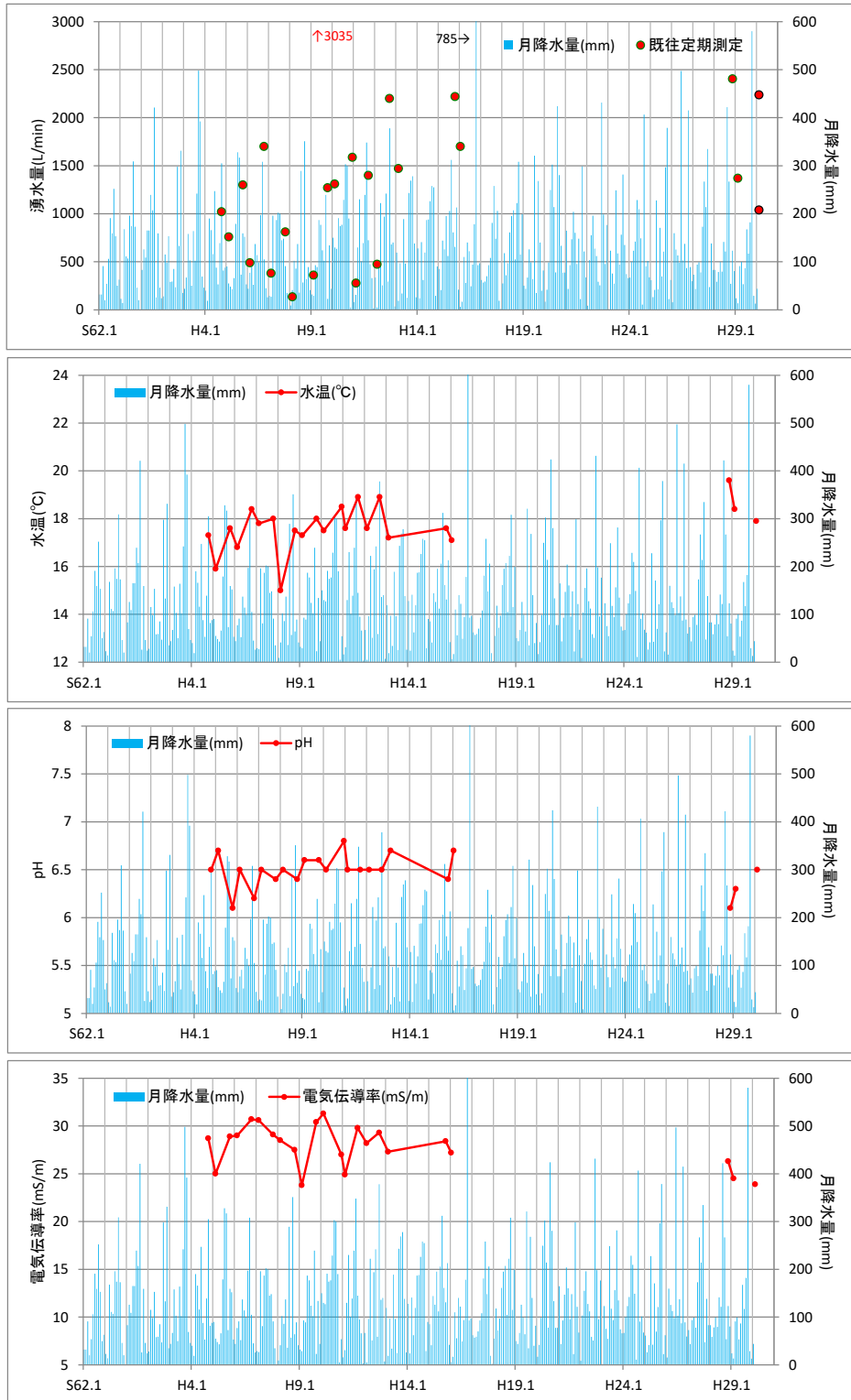


図 4-1 ママ下湧水の湧水量・水質変化（東京の湧水調査報告書より集計・図化）

4.2 主要湧水点毎の集水域の設定

以下の主要湧水点毎の集水域を資料1 および現地踏査結果に基づき設定した（図 4-3、図 4-4）。

「①ママ下湧水 ②郷土文化館下の湧水 ③谷保天満宮常磐の清水」

以下に湧水点（図 4-2）毎の特徴と集水域の設定根拠を整理する。

【①ママ下湧水】

- ・ママ下湧水以外にも下流（東側）に湧水が散在して認められる。
- ・これらの湧水は湧水群をなしており、全体としては相当量の湧水が生じている。
- ・ママ下湧水としては1箇所（看板が設置されている最上流箇所）としたが、集水域の下流端部としては、これら湧水が生じている範囲（ママ下湧水～矢川）とした。

【②郷土文化館下の湧水】

- ・郷土文化館下の湧水は南養寺の下流に位置し他2箇所より有意に湧水量が少ない。
- ・現地踏査した結果、道路脇の水路（郷土文化館下の湧水①）および府中用水沿いの青柳段丘崖下（郷土文化館下の湧水②）を確認した。
- ・これら2箇所をまとめて郷土文化館下の湧水と呼称する。なお、現地踏査した際は、湧水①の湧出量が湧水②より多かった。
- ・集水域は対象地の地下水位等高線と地形から、南北約400m、東西約250mとした。

【③谷保天満宮常磐の清水】

- ・谷保天満宮常磐の清水は谷保天満宮境内の池に流入する湧水である。
- ・境内には他にも湧水が散在するが量は少なく、池を湧出点とすることとした。
- ・集水域は、湧出点北側の地下水位等高線が尾根状をなしていることから、北西-南東に延びる細長い範囲を想定した。



図 4-2 湧水点毎の状況（H30.12.26確認、赤丸は主たる湧出箇所）

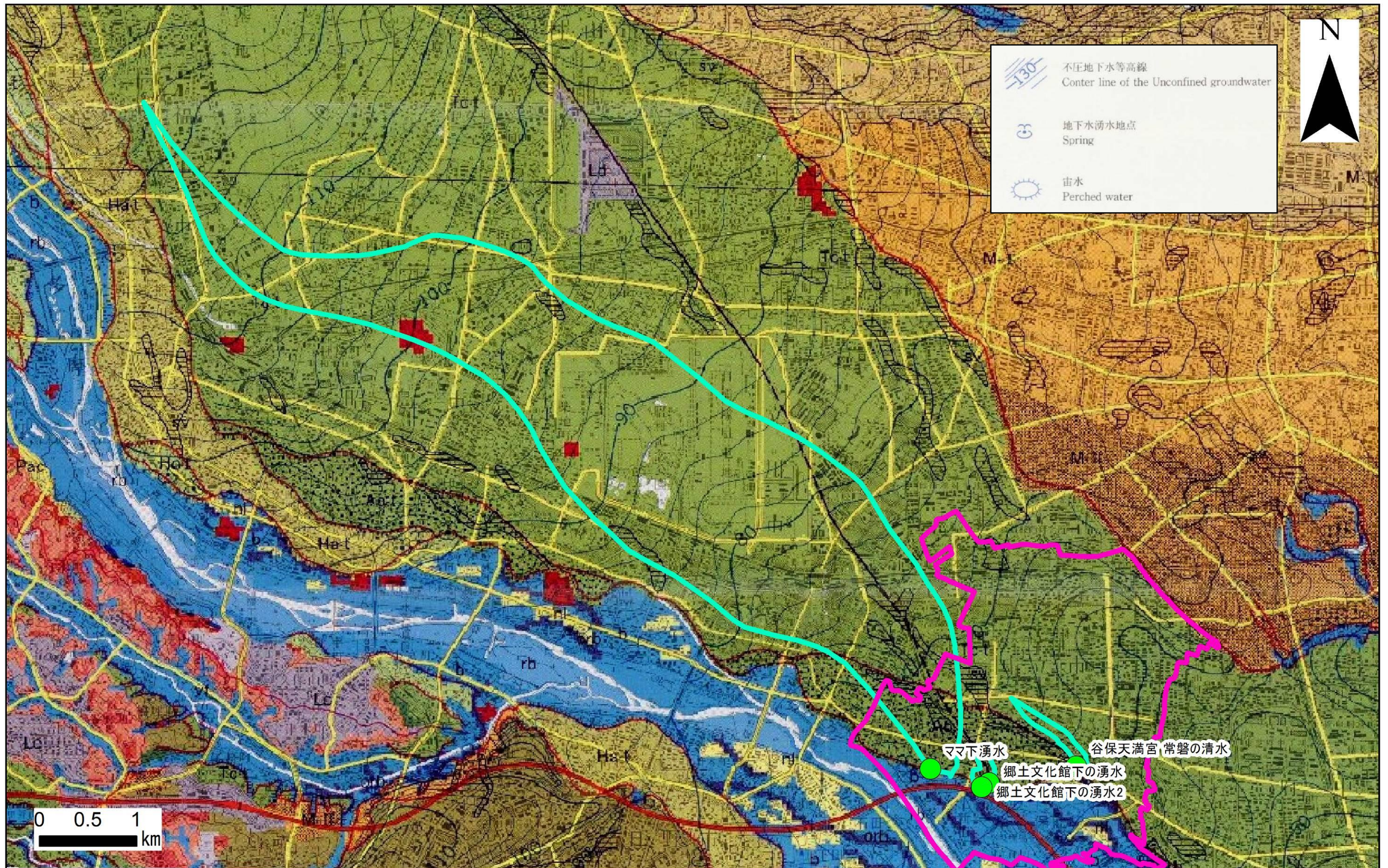


図 4-3 主要湧水池点毎の集水域（資料 1（土地分類基本調査図 地形分類図「川越・青梅」(H7)）の浅層地下水の地下水位等高線および現地踏査結果に基づき設定）

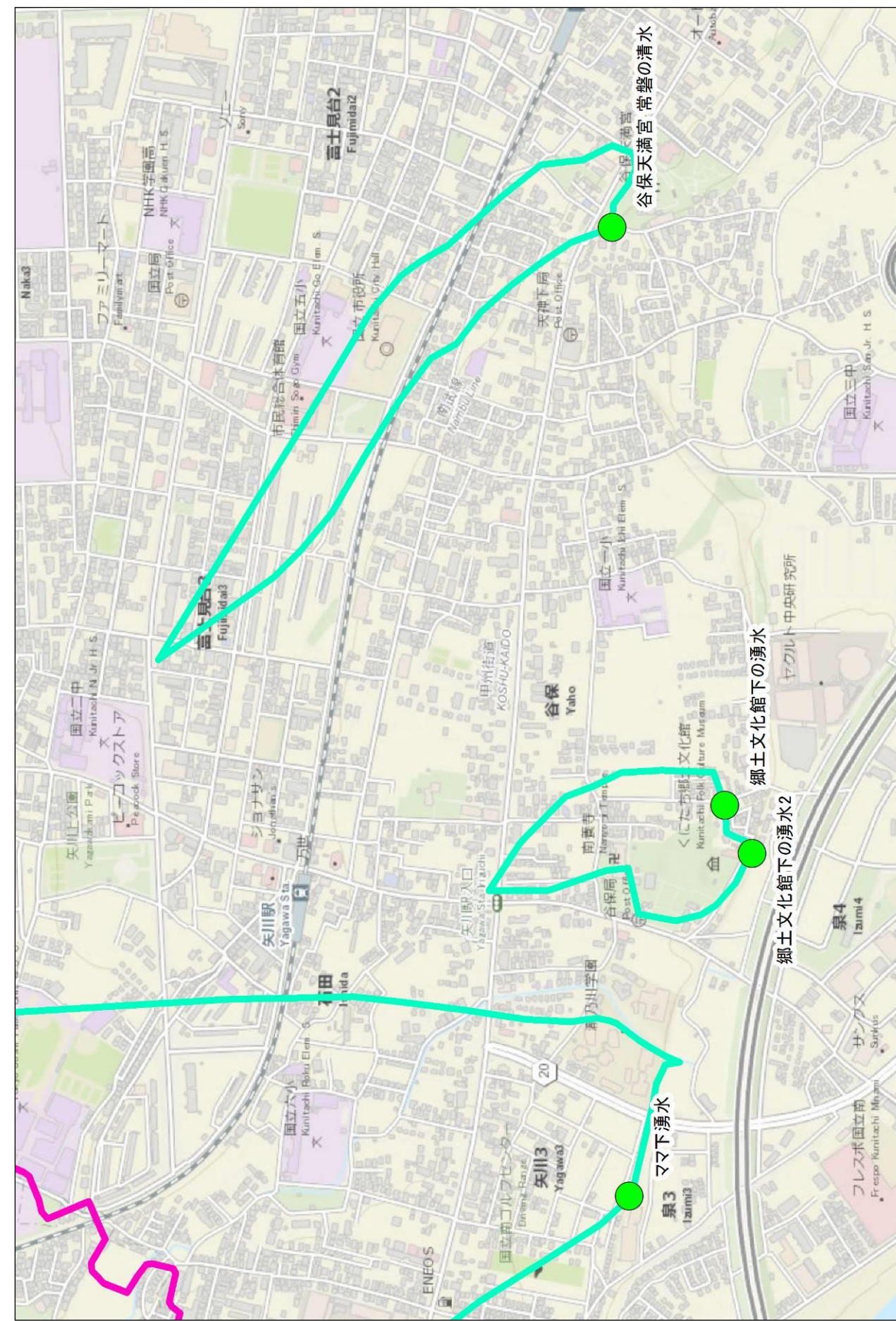
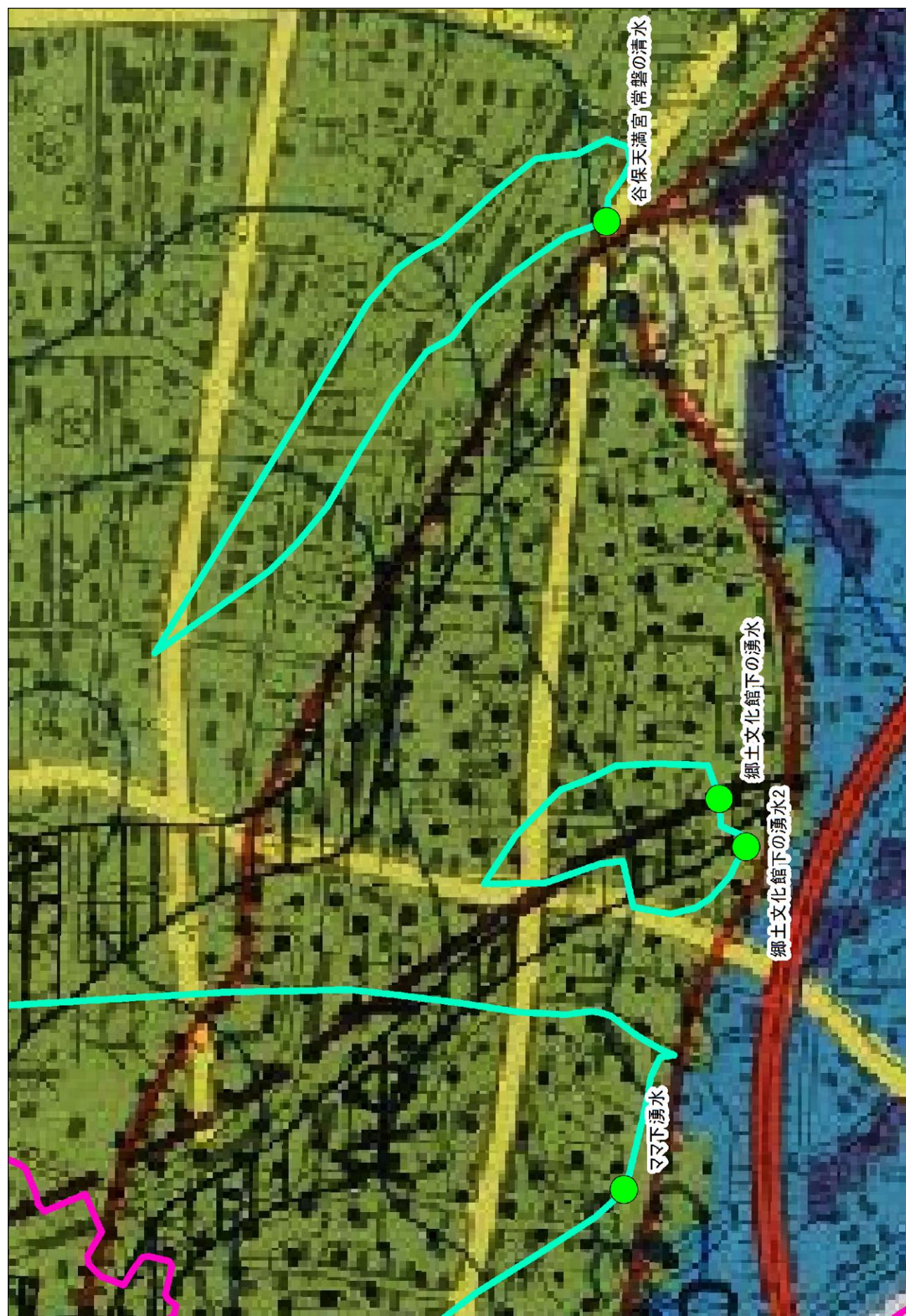


図 4-4 主要湧水池点毎の集水域（資料 1 の浅層地下水の地下水位等高線および現地踏査結果に基づき設定）（拡大）

4.3 水収支解析

4.3.1 目的と概要

対象地域における水文環境を把握する上で、水収支（図 4-5参照）の理解が重要となる。したがって本業務では、国立市およびその周辺地域における面的な地下水かん養量の過去～現在の推計を目的とし、国立市域および国立市内湧水地点（ママ下湧水、郷土文化館下の湧水、谷保天満宮常磐の清水）の推定地下水集水域について、水収支解析を実施した。

具体的には、収集した降水量データ等の気象データ、ならびに森林域における蒸発散量も踏まえた上で、地下へのかん養量（本業務では地下水かん養量と呼称する）を算出する。

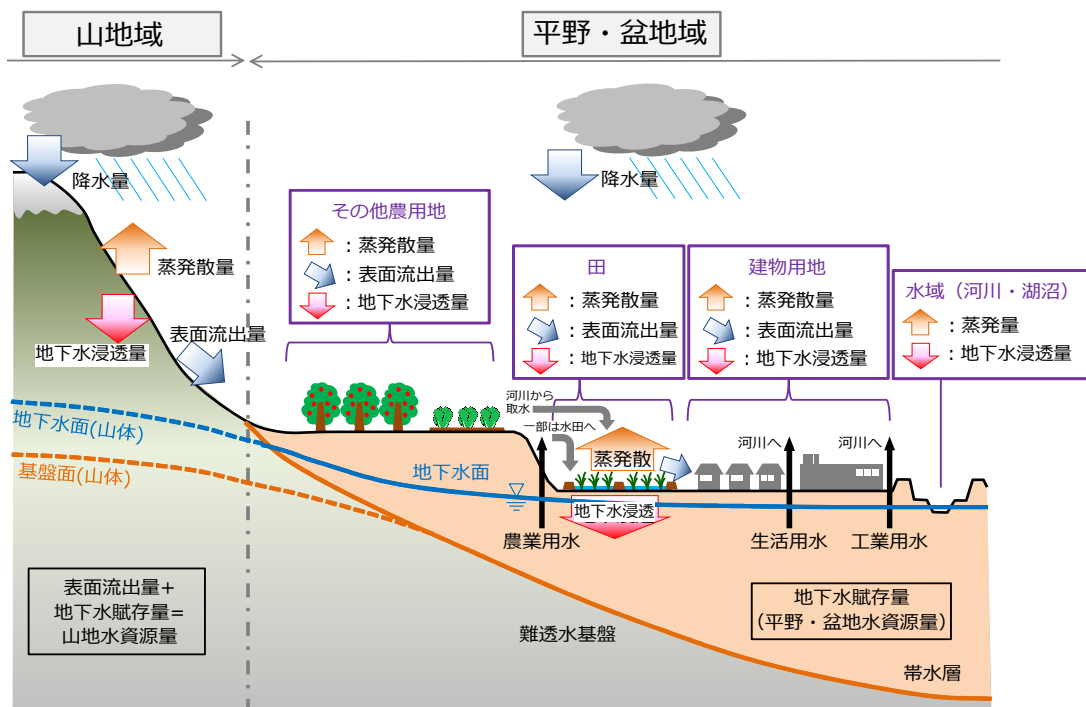


図 4-5 水収支の模式図

4.3.2 検討方針

本項では、水収支解析における概念的な考え方を説明する。水収支解析の理論については、「4.3.4 水収支解析の理論」において後述する。

(1) 検討方法

湧水域の地下水かん養量をいかに合理的かつ客観的に評価するかが重要である。地下水かん養量に係わる水収支構成要素としては、図 4-6に示すとおり「①降水量」「②蒸発散量」「③表面流出量」がある。これらの3要素の高精度化をはかることが、結果として「④地下水かん養量」の高精度化につながる。

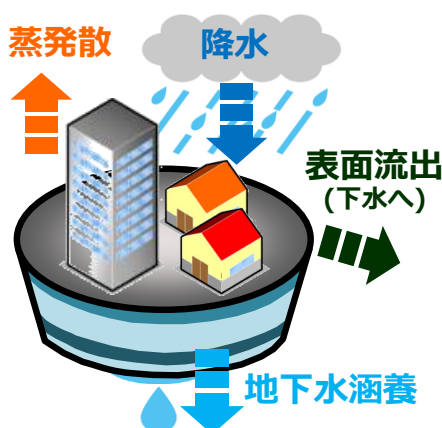


図 4-6 水収支解析の概念図

また、主要湧水地点（①ママ下湧水、②郷土文化館下の湧水、③谷保天満宮 常盤の清水）の湧水量変化に影響を及ぼす主な要因として、(1)降水量、(2)気温、(3)土地利用変化などが挙げられる。

ここで、国立市近傍に位置するアメダス観測地点（府中・八王子）および東京都の年間降水量を見ると、過去から現在にかけて変動はあるものの、傾向としては、おおよそ一定である（図 4-7）。また、年間平均気温は上昇傾向にあり、30年程度前と比較して、約2℃の上昇が見られる。

一方、国立市の人口変遷（図 4-8）を見ると、高度経済成長に伴い、昭和10年頃から昭和45年頃までに人口が急激に増加しており、その差は約25倍に至る。この間に都市開発が進行したことにより、非浸透域面積が急増し、地下水かん養量は激減したと考えられる。国立市の人口は、その後、昭和50年頃に徐々に収束、平成10年頃には現在と同程度の数値を示している。

本業務では、地下水かん養量に最も影響を与える要因として土地利用変化に着目し、主要湧水地点の集水域および国立市域全域について、水収支解析を実施した。

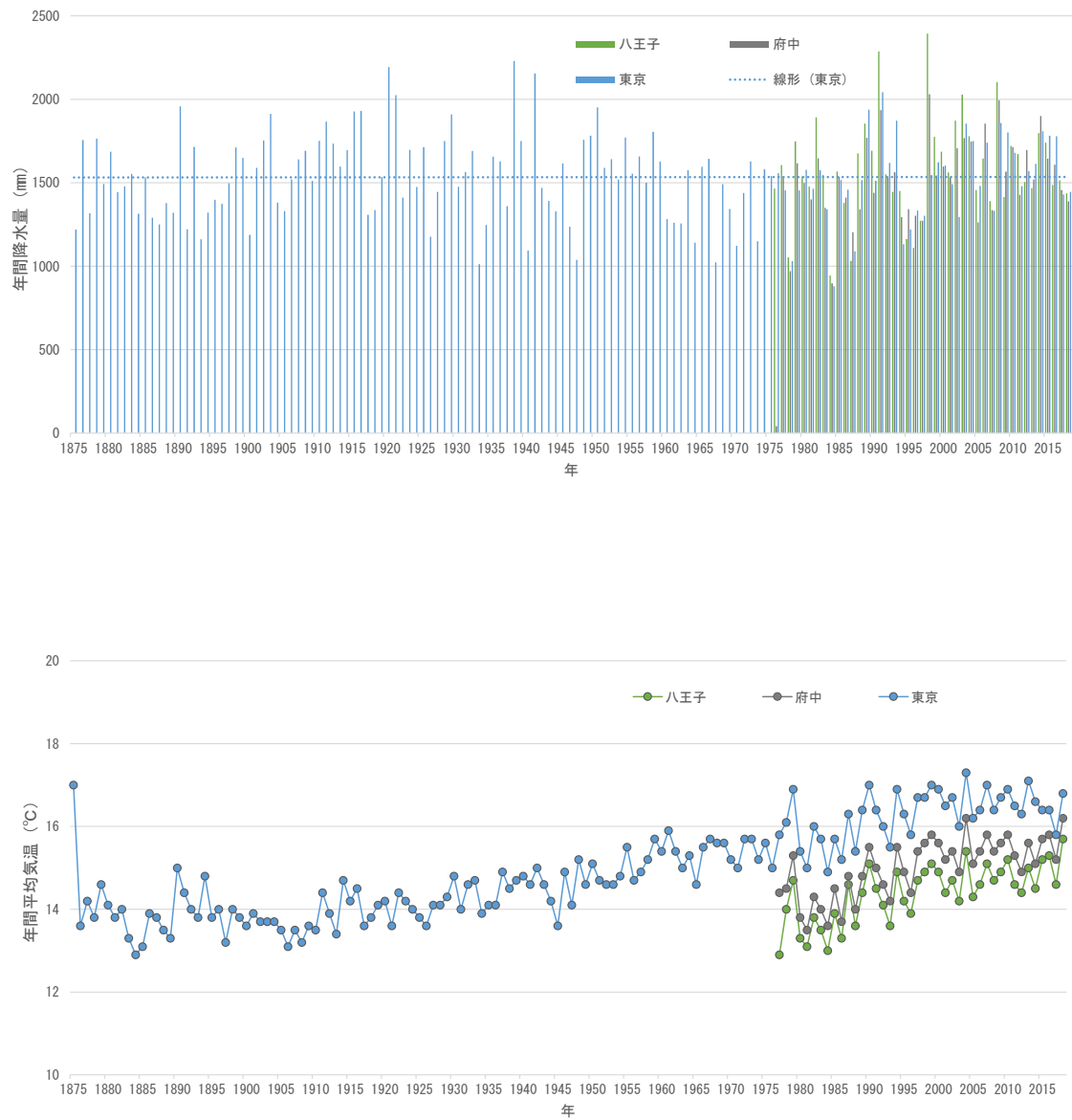


図 4-7 国立市周辺の年間降水量（上段）と年間平均気温（下段）の変化（出所：気象庁）

本検討では、人口変遷の過程の中で、人口増加前後と現時点の比較検討ができるよう、図4-8の赤丸の5時期（大正6～13年、昭和19～29年、平成3～4年、平成19年、平成29年）を水収支解析実施年として選定した。

利用した土地利用データは、旧版地形図（国土地理院）より判読した土地利用データ（大正6～13年、昭和19～29年）と、国立市より貸与いただいた土地利用現況調査データ（平成3～4年、平成19年、平成29年）の5つである。これら5つのモデルについては、「4.3.3 基本条件の整理」で詳述する。

なお、本業務では、長野県全域（富樫・大向：2015）¹、岐阜県全域（富樫ほか：2017）²、富山県全域（松浦ほか：2017）³などで採用され、良好な再現精度が確認された水収支解析手法を採用し、概略検討を実施した。採用手法は、「(1) 降水量：解析雨量データの活用」、「(2) 蒸発散量：森林域等の土地利用特性に配慮した数理モデルの採用」、などをそれぞれ工夫して、評価する地下水かん養量の高精度化をはかっている。解析における解像度は、全て10mメッシュで実施した。

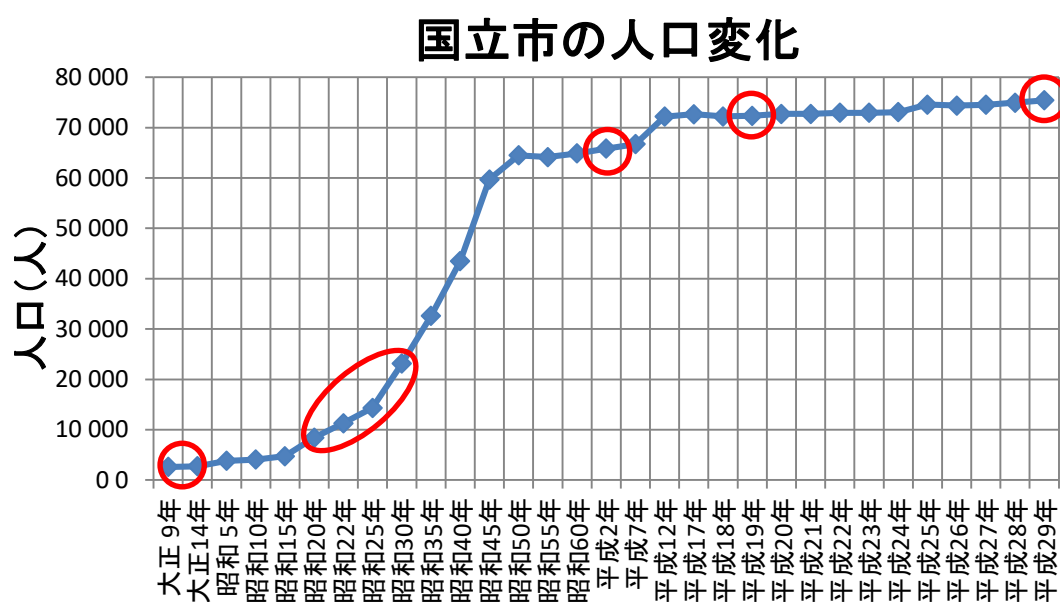


図 4-8 国立市の人口変遷⁴⁵

¹ 富樫聡・大向弘明（2015）：長野の地下水資源と保全，水環境学会誌，Vol.38(A)，No.7，235-239.

² 富樫聡・井川尚之・緒方陸・吉田広人・加藤ひかる・高橋努（2017）：岐阜県全域を対象とする地下浸透量と地下水流動機構の可視化の試み，Kansai Geo-Symposium 2017論文集.

³ 松浦拓哉・手計太一・富樫聡・緒方陸（2018）：分布型水収支モデルを用いた土地利用変化と気候変化が富山県域の水資源量に与える影響評価，土木学会論文集B1（水工学），Vol.74，No.4，I_37-I_42.

⁴ 東京都：大正9年～平成17年：東京都の統計 第2表 人口
<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tjinko/2009/to-data.htm><2019/01/21アクセス>

⁵ 国立市：平成18年～平成29年：統計くじたち
<http://www.city.kunitachi.tokyo.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/17/jinkou2017.pdf><2019/01/21アクセス>

(2) 水収支解析モデルの推計精度

緒方ほか(2017)⁶は、水収支解析で得られる河川等に流出する水量の計算値と流量観測所において取得される流量データの比較を行い、本検討に採用する水収支解析モデルの推計精度を検証している。水収支解析では、月別の水量を評価する。このとき、流域内における当月の降雨はすべて同月中に流域外に流出すると考えている。国内の河川流域では、降雨継続時間、洪水継続時間、洪水到達時間は長くても数日程度であるため、国内河川流域の特性を踏まえると上記の考え方に大きな問題はないと考える。

国土全体を対象とした水収支解析モデルの計算値と観測値について、一部を図4-9および図4-10に整理する。これらに示すとおり、収支計算の年間総量、月間総量が概ね現況を再現できていることがわかる。これは、先に述べたとおり、面的な降水量と蒸発散量の高精度化が大きな要因と考えられ、この利点は本検討においても有用と考えられる。

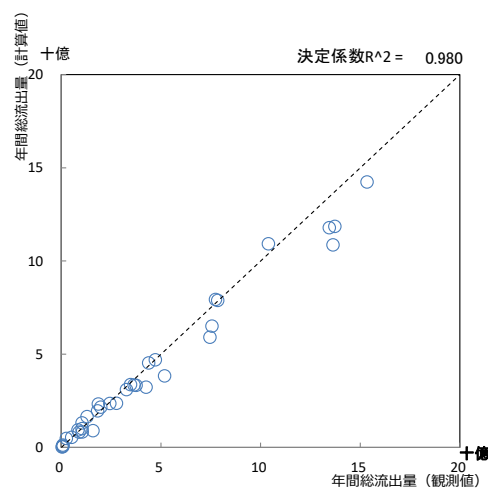


図 4-9 水収支解析モデルの計算値と観測値の比較（年間表面流出量・年間地下水かん養量）⁶

⁶ 緒方陸・富樫聡・山本晃・高橋努・澤野真治(2017):日本特有の森林水文性と営農条件を反映した資源マップの作成, 地下水学会2017秋季講演会要旨集

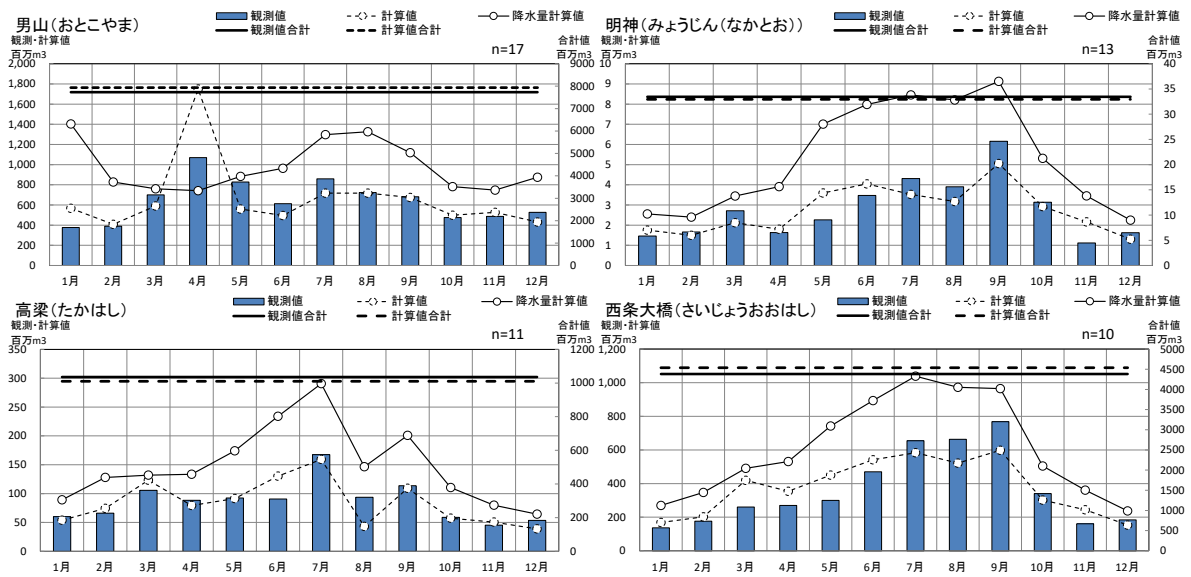


図 4-10 水収支解析モデルの計算値と観測値の比較 (月間表面流出量・月間地下水かん養量) ⁶

なお、当該手法では月別かつメッシュごとに条件を設定し、水収支解析を実施するため、蒸発散量、表面流出量、地下水かん養量は月別、メッシュごとに算出することができる。ただし、物理則に基づくメッシュ間の水の移動は考慮していない。

ここで、山地における流出機構を考える。図 4-11に示すとおり、山地において地上に到達した降水の一部は、 Horton型表面流として河川等へ流出する。 Horton型表面流とは、森林などにおいて地表面の浸透能（水が地面にしみ込む能力）よりも降雨量が大きい場合に、土壌に浸透しない余剰分が土壌表面に生じ、表面流となって流下するものである。また、地表面から地下に浸透した水は、難透水基盤の上面で一時的に溜まり、基盤の傾斜にしたがい表層土壌中を流動して、いずれ地表に流出する。一般的にこのような流出は中間流出と呼ばれ、流動の速い成分と遅い成分にわけて考えることが多い。

さらに、一部の水は、難透水基盤の亀裂等をとおって地下深部へ浸透する。このように浸透する水は、山体中に保有されるのみでなく、地下水流出することで、河川の基底流出として供給される。なお、河川の基底流出成分は年間通じてほぼ一定と考えられることから、ここでは、山体地下水の出入りはほぼバランスがとれていると考える。

当該手法における水収支解析では、山地域の表面流出量と地下水かん養量は、地上残留水量（＝降水量－蒸発散量）と地下浸透率を用いて、速い中間流出も含めた表面流出量（＝地上残留水量×（1－地下浸透率））と、遅い中間流出を含めた地下水かん養量（＝地上残留水量×地下浸透率）として評価した。したがって、降水量、蒸発散量、地下浸透率の3つの精度を高めることが肝要であると言える。

また、採用手法では、流出計算に合理式を用いるため中間流出成分と基底流出成分を分離できないものの、現地観測した流量データを参考として基底流出成分を推定することとなる。そこで、流量観測データが取得できた流域において、計算値が観測値を再現できるような地下浸透率を設定した。ここで、水収支の観点より整理した具体的な水文プロセスを図 4-12に示す。これは図 4-11の山地の流出・浸透機構をモデル化したものである。

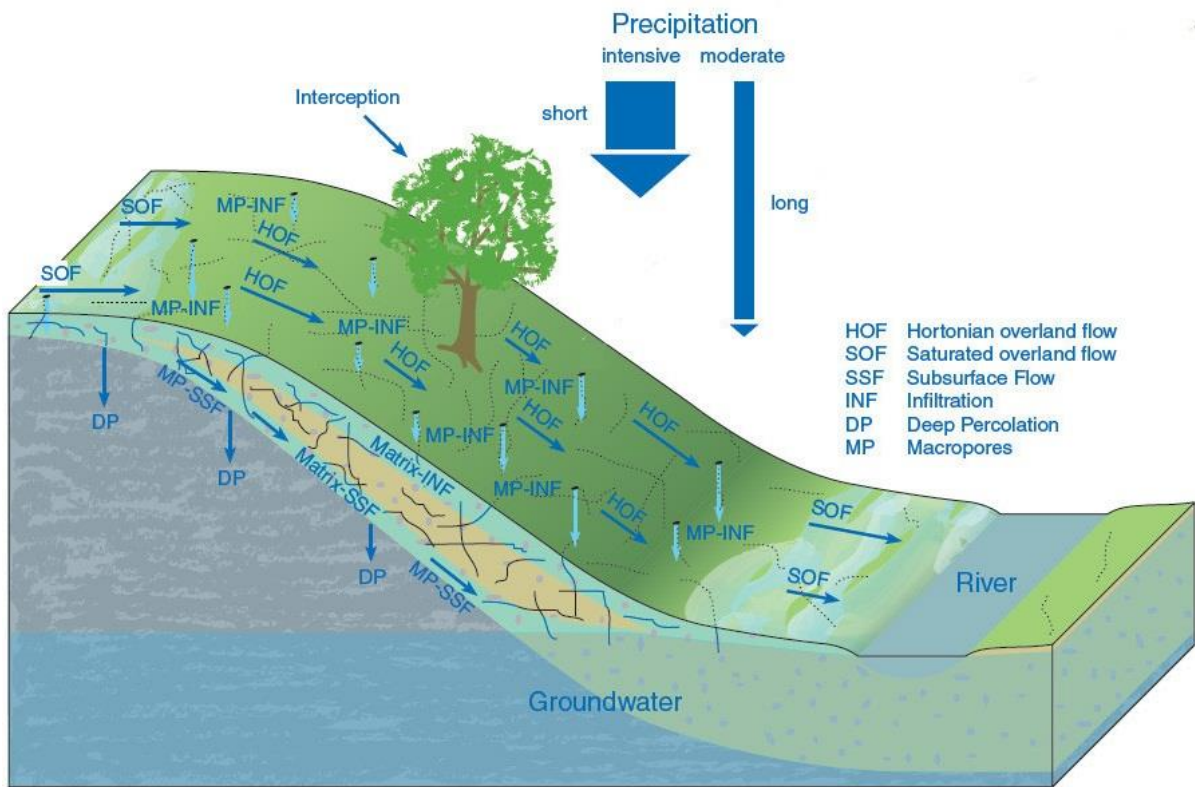
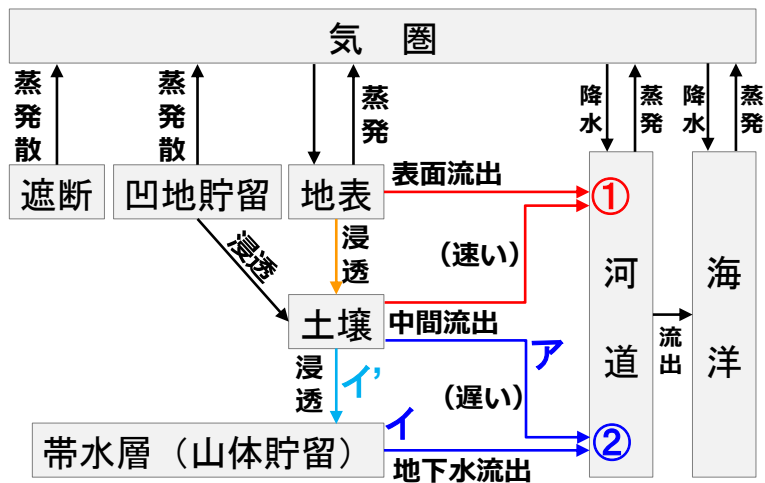


図 4-11 山地の流出・浸透機構⁷



■山地以外の流出・地下浸透機構

- ① : 表面流出量 = 降水量 × 流出係数 × メッシュ面積
- ② : 地下水流出量 = ア+イ ≒ ア+イ' ※水収支バランスがはかれていると想定
- ア+イ : 地下浸透量 = 降水量 - 蒸発散量 - 表面流出量

■山地の流出・地下浸透機構

- ① : 山地の表面流出量 = (降水量 - 蒸発散量) × (1 - 地下浸透率)
- ② : 山地地下水からの基底流出成分 = ア+イ ≒ ア+イ'
- ア+イ : 山地の地下浸透量 = (降水量 - 蒸発散量) × 地下浸透率

図 4-12 流出・地下浸透機構のモデル化

⁷ hydroconsult : Flash Floods

<<https://www.hydroconsult.eu/hydrology/flash-floods/>>(2018/03/13アクセス)

4.3.3 基本条件の整理

水収支解析にあたり、地形・土地利用・気象データなどの基本条件を整理した。収集・整理したデータを表 4-1に示した。また、(1)～(4)に収集したデータの概要を示す。

表 4-1 収集・整理したデータ

分類	項目	データ	年次	メッシュ	出展	図表番号
地形	標高	ArcGIS Collection 2016	2010年時	約60mメッシュ	ESRIジャパン	図 4-14
土地利用	30種別	土地利用現況調査データ	1991-1992年度, 2007年度, 2017年度	-	東京都	図 4-15 ～
	-	旧版地形図より判読	1917-1924年度, 1944-1954年度	-	国土地理院	図 4-17
気象	気温	メッシュ平年値2010	平年値 (1980年-2010年)	1kmメッシュ	気象庁	図 4-18
	全天日射量	メッシュ平年値2010		1kmメッシュ	気象庁	図 4-19
	降水量	メッシュ平年値2010		1kmメッシュ	気象庁	図 4-20
		解析雨量	2011年 - 2015年	1kmメッシュ	国交省・気象庁	-

(2) 地形

解析範囲の標高分布を図 4-14に示す。図 4-14は、水収支解析の計算条件（乾湿計定数 γ 、山岳荒地の判定など）で利用する解像度が約60mメッシュのDEMデータである。国立市は標高約50m～約90mの地形からなり、市内に位置する湧水地点の推定集水域はおよそ140mにまでおよぶ。国立市内には段丘崖が見られ、この付近で湧水が認められる。

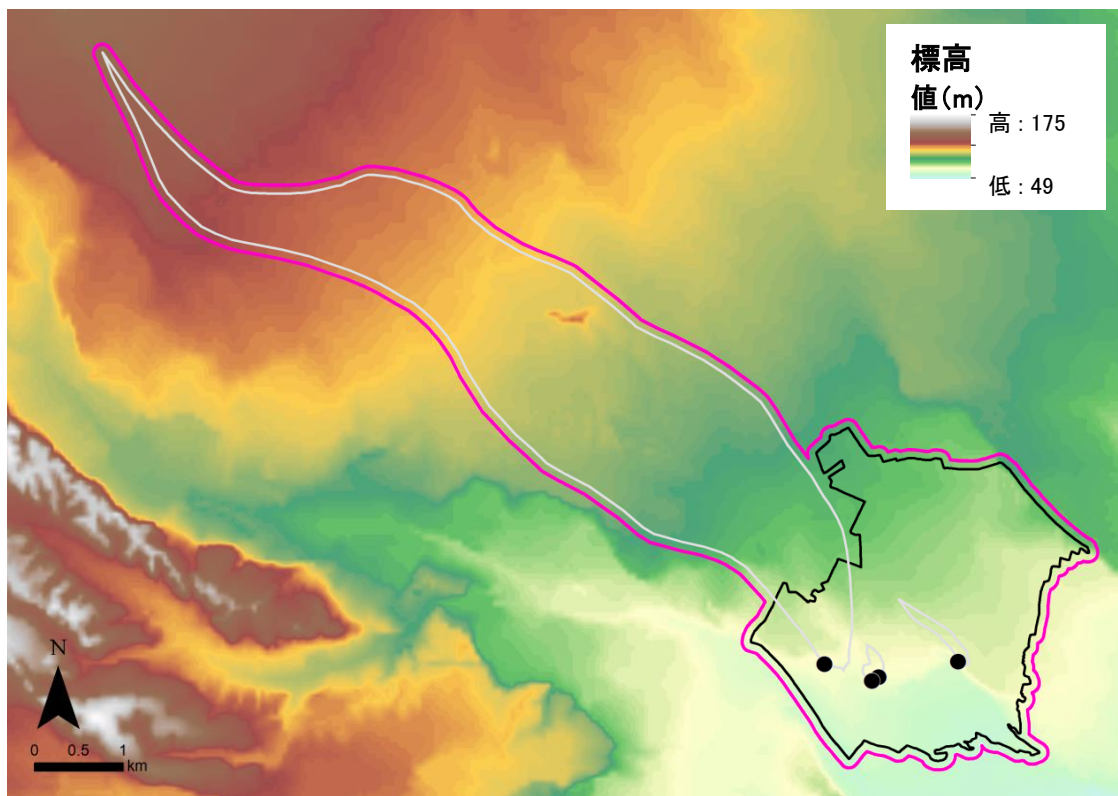


図 4-14 標高分布（出所：ESRIジャパン）

(3) 土地利用

図 4-15～図 4-17に5時期（大正6-13年、昭和19-29年、平成3-4年、平成19年、平成29年）の土地利用図を示す。

大正6年～昭和29年にかけては、解析範囲において、森林やその他の農用地、その他の用地などが多く占めていたが、平成3年以降では既に都市化が進行しており、大部分を建物用地が占めている。平成19年以降では、多摩川沖積低地に位置する、それまで田であった地域もほとんどが宅地化し、現在確認される田は青柳崖線付近に散見される程度である。

なお、各時期の土地利用種別は、表 4-2～表 4-3の分類で、国土数値情報8（国交省）の11種に集約させ、10mメッシュに割り当てた。これを、後述する水収支解析の計算条件に用いることとする。

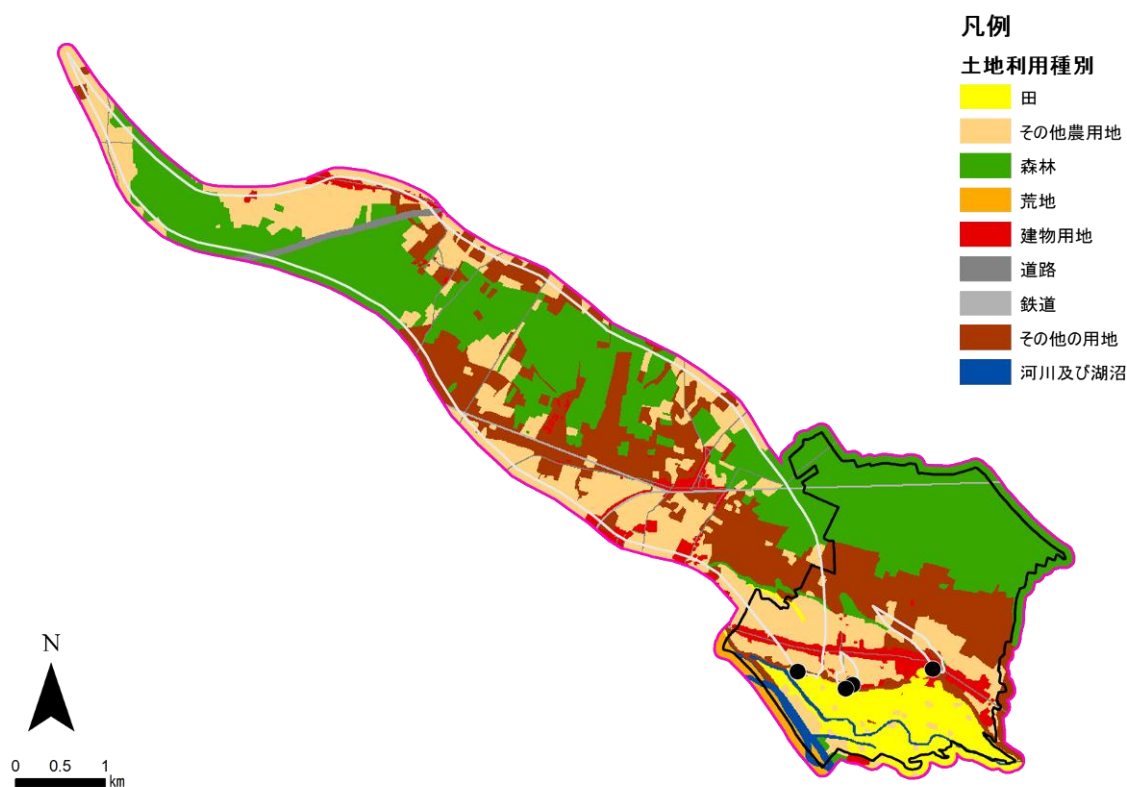


図 4-15 土地利用図 1/3（大正6-13年）

⁸ 国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報 ダウンロードサービス
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/<2019/01/22アクセス>>

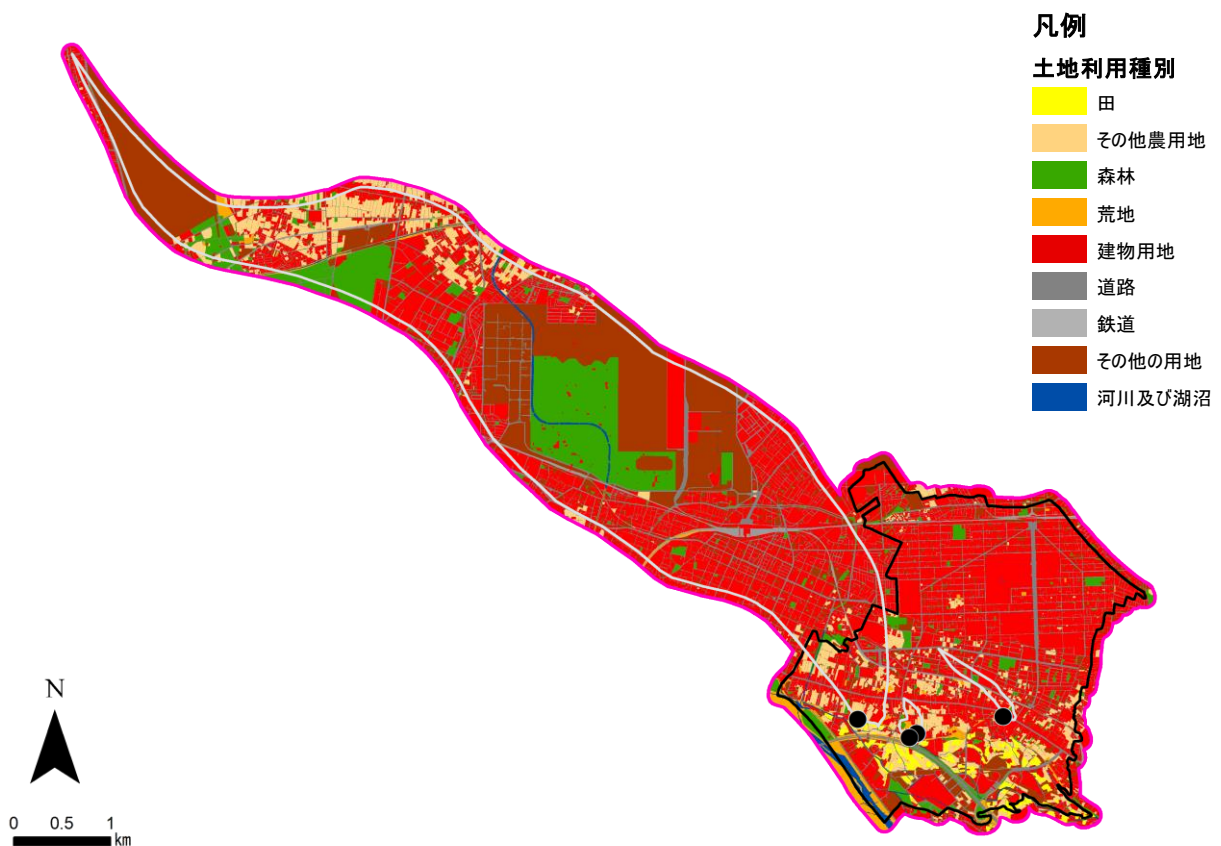
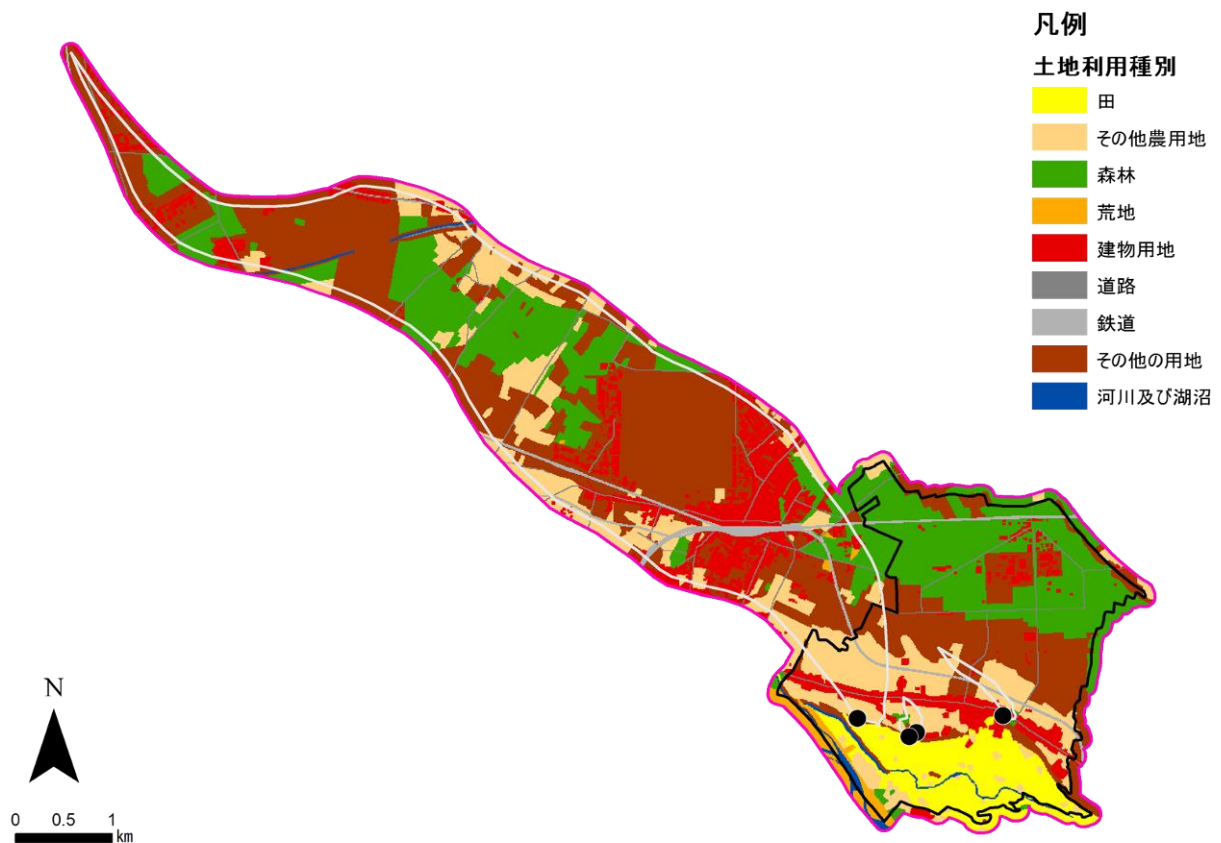


図 4-16 土地利用図 2/3 (昭和19-29年 (上段)、平成3-4年 (下段))

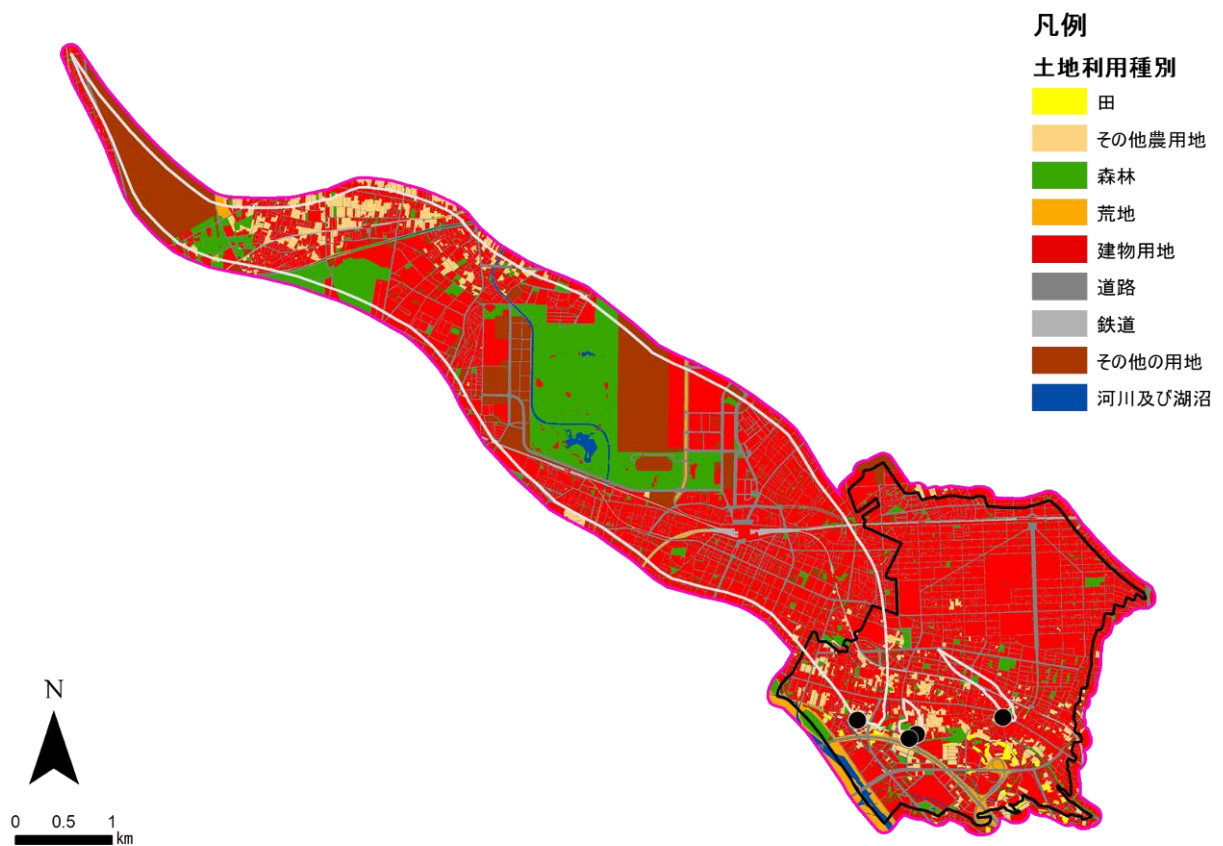
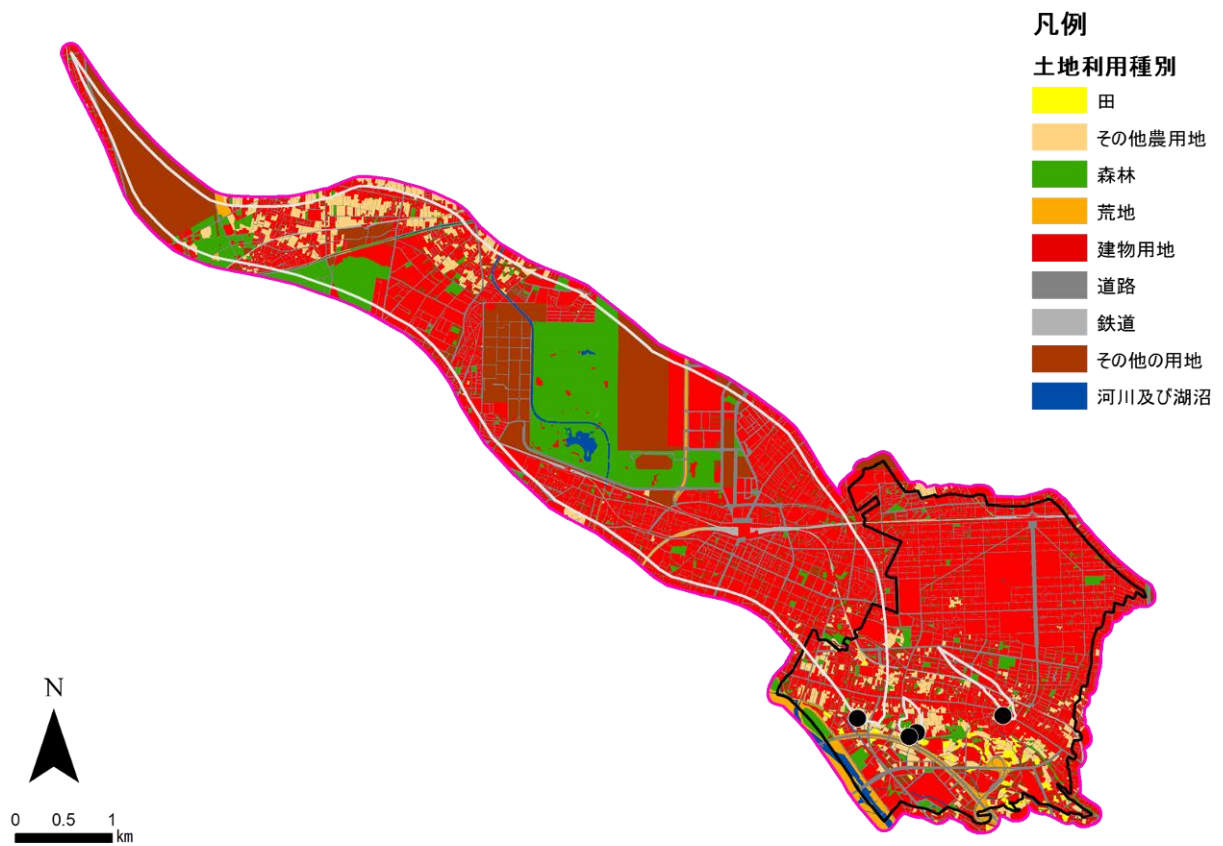


図 4-17 土地利用図 3/3 (平成19年 (上段)、平成29年 (下段))

表 4-2 土地利用種別分類 1/2 (大正6-13年、昭和19-29年)

T6-T13, S19-S29	国土数値情報データ分類
田	田
桑畑	その他の農用地
果樹	
広葉樹林	森林
針葉樹林	
混交林	
建物	建物用地
荒地	荒地
道路・鉄道	道路
その他の用地	その他の用地
土園	
不明	
河川域	河川・湖沼

表 4-3 土地利用種別分類 2/2 (平成3-4年、平成19年、平成29年)

H3-H4,H19,H29		
東京都提供データ分類		国土数値情報データ分類
区分	主用途	
公共用地	官公庁施設	建物用地
	教育文化施設	
	厚生医療施設	
	供給処理施設	
商業用地	事務所建築物	
	専用商業施設	
	住商併用建物	
	宿泊・遊興施設	
	スポーツ・興行施設	
住宅用地	独立住宅	
	集合住宅	
工業用地	専用工場	
	住居併用工場	
	倉庫運輸関係施設	
農業用地	農林漁業施設	
	屋外利用地・仮設建物	その他の用地
	公園、運動場等	森林
	未利用地等	その他の用地
	道路	道路
	鉄道・港湾等	鉄道
農用地	田	田
	畑	その他の農用地
	樹園地	
	採草放牧地	
	水面・河川・水路	河川・湖沼
	原野	荒地
	森林	森林
	その他	その他の用地
	不明	
	不整合	

(4) 気象

表 4-4に水収支解析に用いる気象データの概要を整理した。また、図 4-18、図 4-19、図 4-20は、それぞれメッシュ平年値2010（気象庁）より作成した年間平均気温、年間平均全天日射量、年間降水量を図化したものである。気象データはすべて平年値（1981年～2010年の平均値）となる。

年間平均気温（図 4-18）、年間平均全天日射量（図 4-19）、年間降水量（図 4-20）は全て、やや標高との相関が見られる。国立市は、周辺地域と比較して、わずかに高気温、多日射量、多雨を示しているが、解析範囲全域で概ね同程度の値を示し、気象特性に明確な地域性があるとは言えない。図 4-20の年間降水量をみると、本解析範囲では、日本の平均年間降水量（1700mm）よりも低い値を示しており、やや少雨の地域であることが分かる。

表 4-4 水収支解析に用いる気象データ（メッシュ平年値2010）の概要

メッシュ平年値2010(気象庁)で整理されているデータの種類(青字:水収支解析に採用する情報)		
気象要素	統計値	単位
平均気温	気温の日平均値を月(年)平均した値	℃
日最高気温	気温の日最高値(任意時刻の値)を月(年)平均した値	℃
日最低気温	気温の日最低値(任意時刻の値)を月(年)平均した値	℃
全天日射量	全天日射量の日積算量を月(年)平均した値	MJ/m ²
日照時間	日照時間の月(年)合計値	h
降水量	降水量の月(年)合計値 ※本データを基に補正して使用	mm
最大積雪深	積雪の深さの月(寒候年)	cm

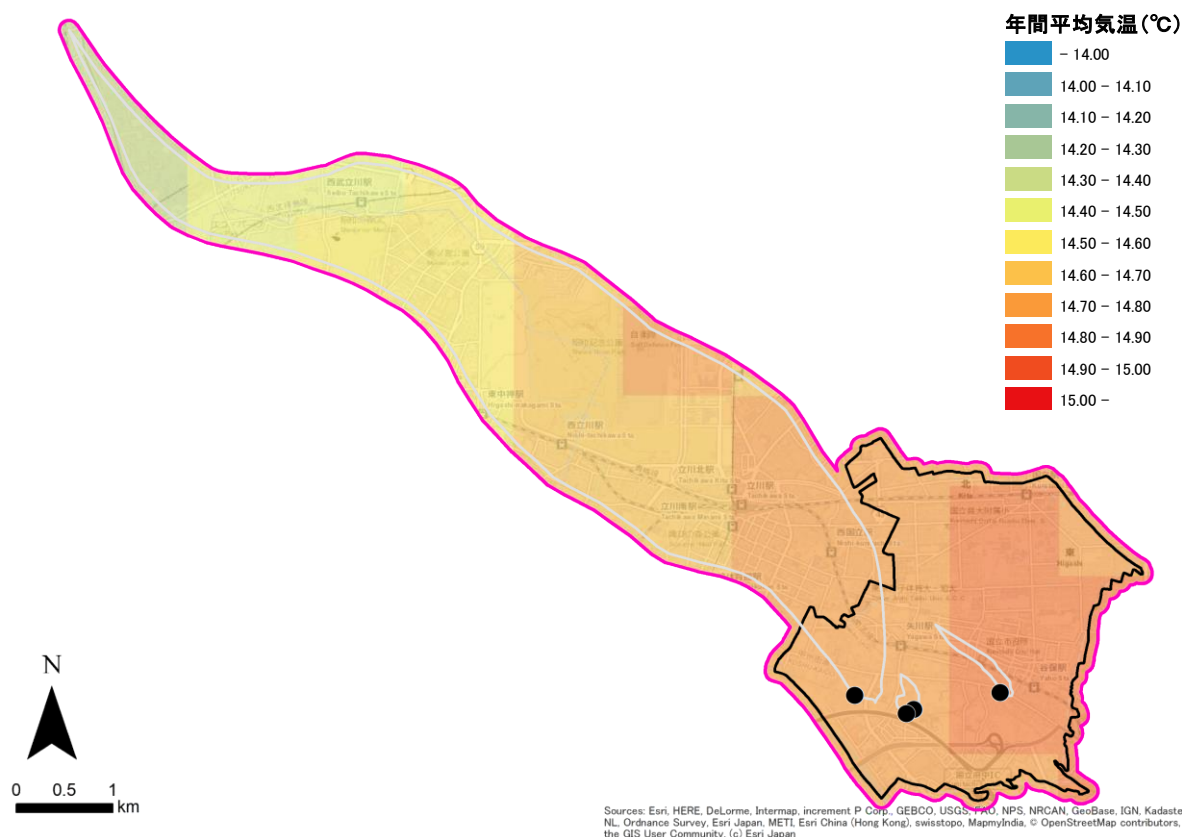


図 4-18 年間平均気温の平年値（1981-2010）

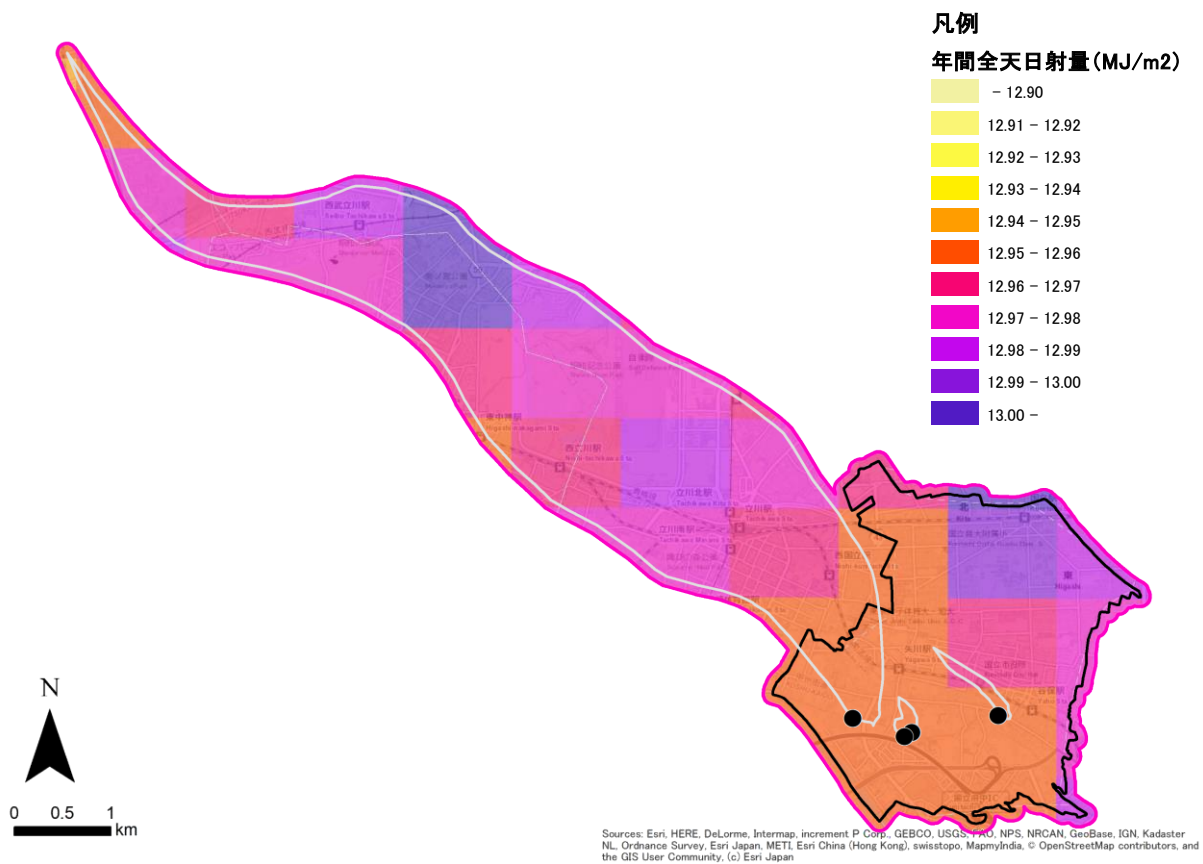


図 4-19 年間平均全日射量の平年値 (1981-2010)

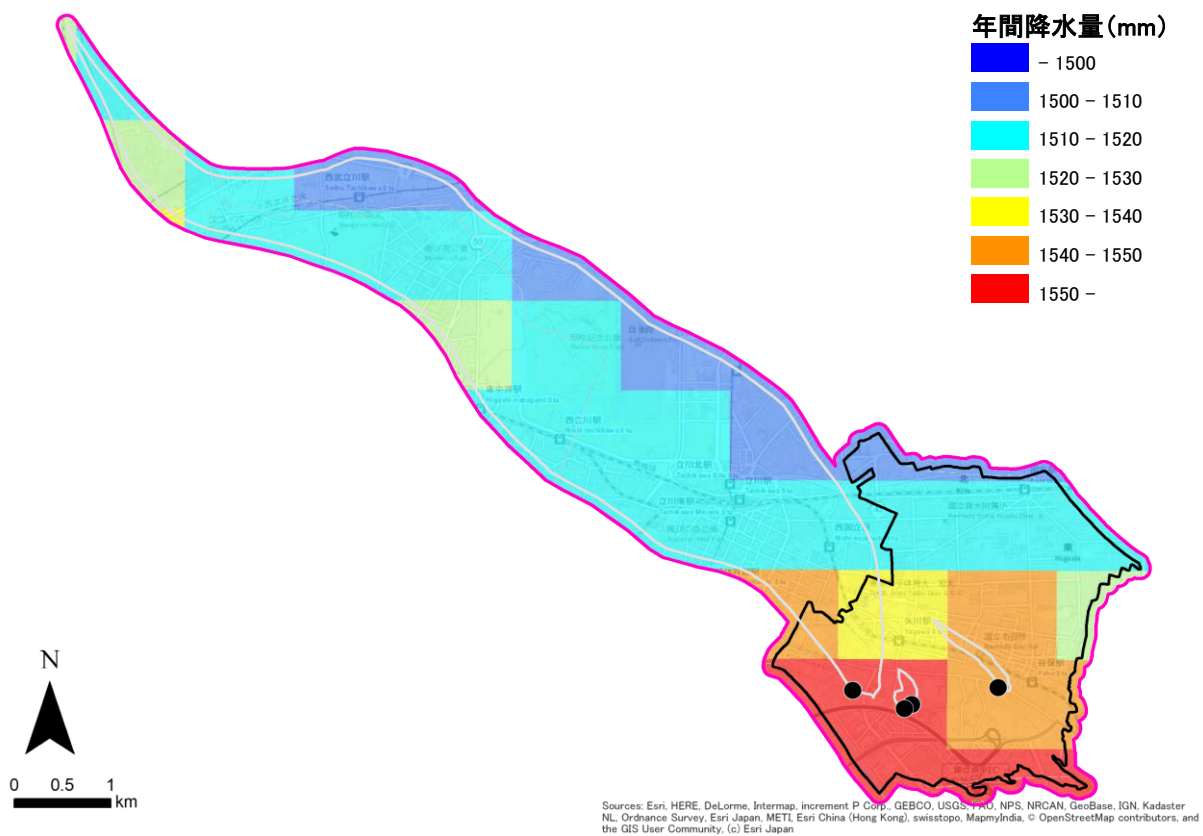


図 4-20 年間降水量の平年値 (1981-2010)

4.3.4 水収支解析の理論

本項では、水収支解析の理論について詳述する。

(1) 解析雨量を用いた降水量データの作成

水収支解析にあたり、とくに重要なのは降水量データである。ただし、先に示したメッシュ平年値2010は気象庁管轄の観測所（アメダス観測所等）を用いて作成されたデータであるため、観測所の空間密度が疎となる地域では面的に正確な降水量分布となっていないことに留意が必要となる。

そこで本業務では、対象地域における詳細な降水量分布を把握するために、国土交通省が作成した「解析雨量」データを活用した。「解析雨量」とは、国土交通省水管理・国土保全局、道路局と気象庁が全国に設置しているレーダー、アメダス等の地上の雨量計を組み合わせ、降水量分布を約1km四方の細かさで解析したものである（図 4-21参照）。

■解析雨量の作成方法

- ・アメダスは雨量計により正確な雨量を観測するが、雨量計による観測は面的には隙間が生じる。
- ・一方、レーダーでは、雨粒から返ってくる電波の強さにより、面的に隙間のない雨量が推定できるものの、雨量計の観測に比べると精度が落ちることが問題となる。
- ・そこで両者の長所を活かすべく、レーダーによる観測をアメダスによる観測で補正することで、面的に隙間のない正確な雨量分布を作成し、解析雨量データが整備されている。
- ・なお、解析雨量の精度をより高めるために、国の他機関や都道府県の雨量計による観測もアメダスと合わせて利用し、対象観測所を適宜追加しながら精度向上が図られている。

本業務における解析雨量データの活用方法を図 4-22に整理した。また、整理した月別の補正係数を用いて作成した降水量データ（解析雨量補正）の年間値を図 4-23に示す。図 4-23に示すとおり、解析雨量により補正した。なお、メッシュ別補正係数の整備にあたり、異常値を示すデータについては目視判読により適宜棄却している。

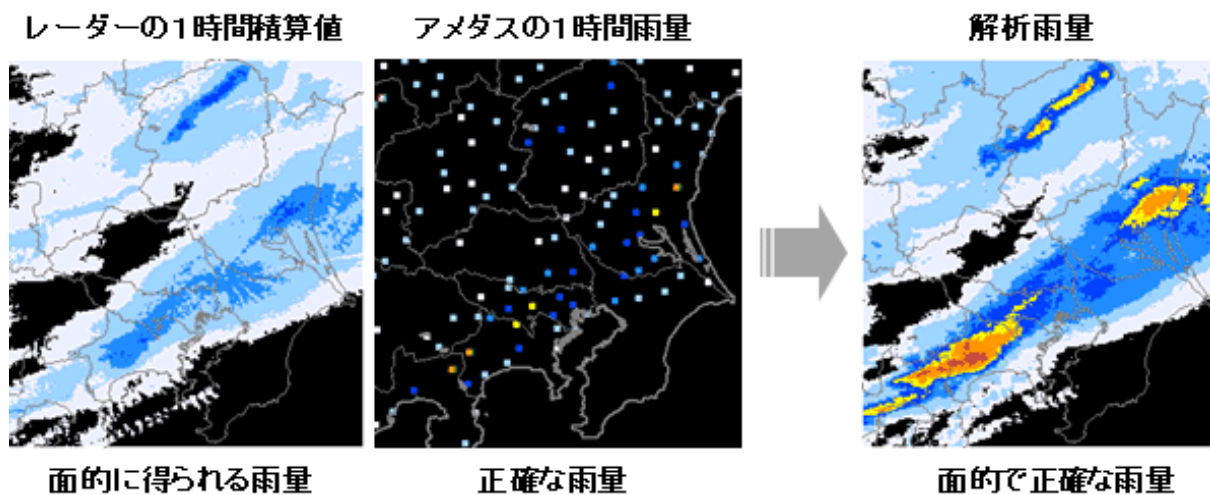


図 4-21 解析雨量データの作成方法⁹

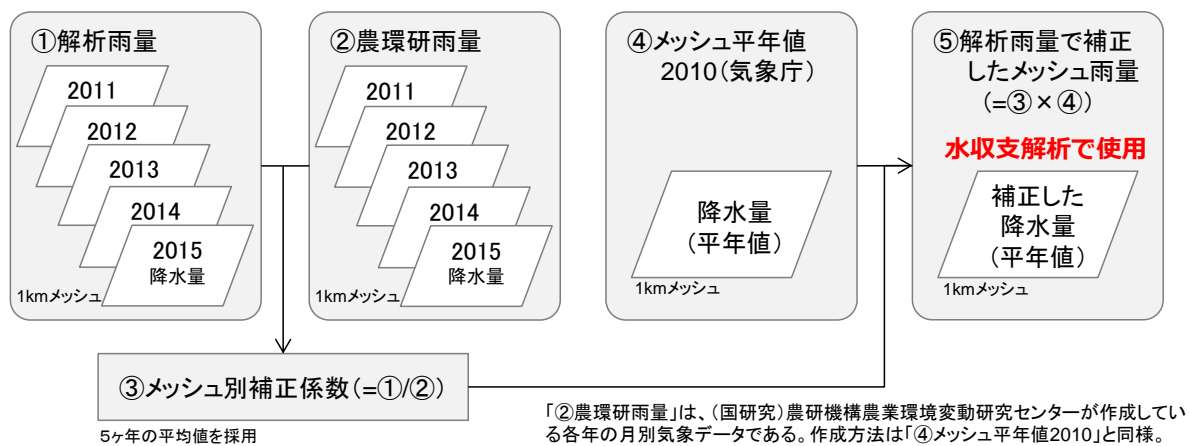


図 4-22 本業務における解析雨量データの活用方法

⁹ 気象庁：解析雨量

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/kuashou/kurashi/kaiseki.html> (2017/06/08アクセス)

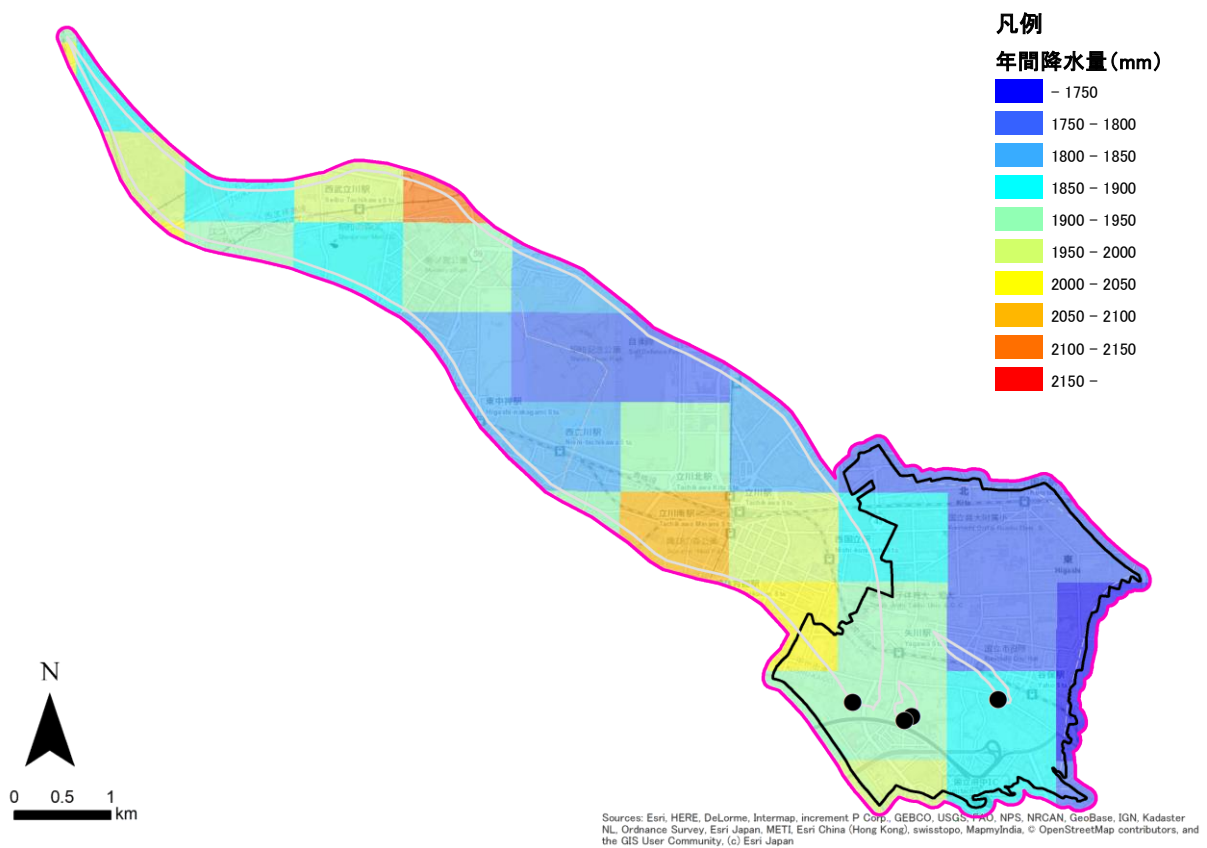


図 4-23 年間降水量の平年値 (1981-2010)

(2) 土地利用データの扱い

水収支解析にあたり土地利用情報が重要となる。本検討で用いる土地利用情報は、国土数値情報を基本とするが、当該データの土地利用種別における考え方について、いくつか留意する事項を以下に整理した。

1) その他農用地

厳密に言えば、野菜や果樹等の栽培品種別に営農環境が異なるため「蒸発散量」や「栽培に必要な農業揚水量」などが異なる。したがって、「その他の農用地」メッシュについては一般的な畑の値を採用した。

2) 田

田は、灌漑期と非灌漑期では、水収支構成要素としての機能が大きく異なる。とくに灌漑期について考えると、湛水に伴う地下水かん養量は膨大であり、地域の水収支に大きな影響を与えることとなる。したがって、田の面積や灌漑期間を適切に評価することが重要となる。また、湛水時の蒸発散量や浸透量については、地域における減水深などの実績値を参考に設定することが望ましい。

以上より、田については、その面的な分布は各種土地利用データを基本とするものの、当該データは耕作田・耕作放棄地を含む情報となっているため、地域の実態に見合う営農情報として「農林水産省作物統計調査」結果を用いて、水稻作付面積を評価した。

なお、非灌漑期においては、広域スケールで水収支を考える場合、流出および蒸発散機構は、畑との大きな違いはないものと考えられる。したがって非灌漑期の蒸発散量および流出量の評価は「その他の農用地」と同様の考え方により評価した。

3) 建物用地

水収支算定において国土数値情報の“市街地・住宅地で建物が密集しているところ”とされる「建物用地」について、当該メッシュ内の全域がアスファルト舗装された都市域と見なして検討すると、流域内に降った雨量のうち河川への流出量の割合を表わす係数「流出係数」が大きくなるため、表面流出量が過大に（地下水かん養量は過小に）評価される。

また、アスファルトで舗装されていた非浸透域においては、降雨がほとんどその場に留まることがないため、水面および土壌面からの蒸発はほとんどないこととなる。したがって、国土数値情報の「建物用地」については、表面流出量および蒸発散量を適切に評価する必要があることから、建物用地とされる地域を対象に、実態に見合う浸透域、非浸透域の占有面積率を整理した。

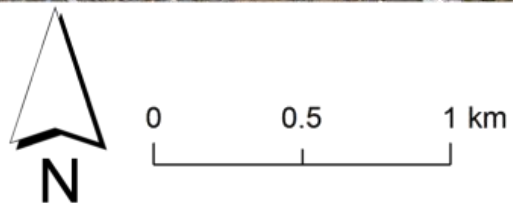
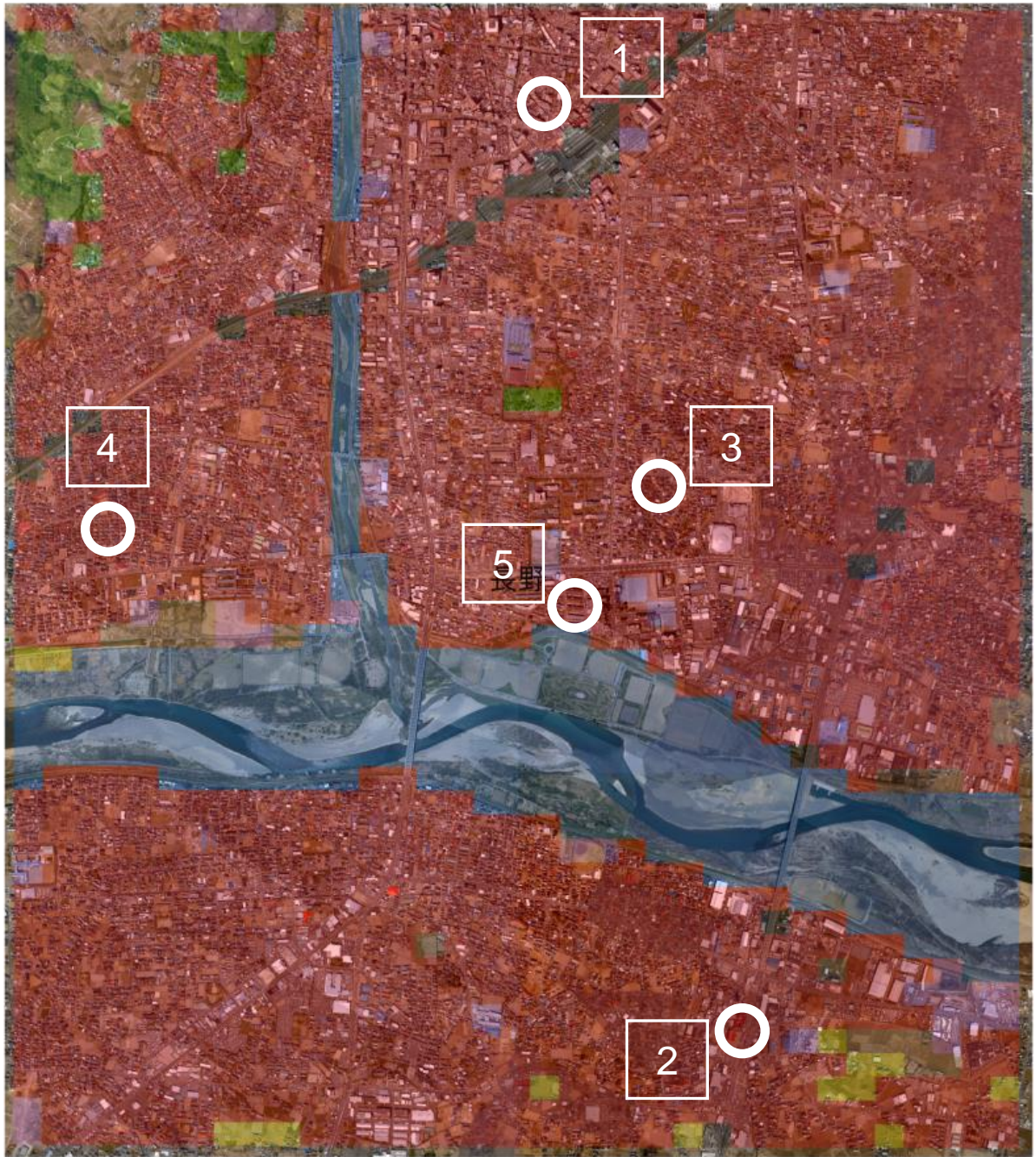
ある地域の航空写真と、国土数値情報土地利用細分メッシュデータ（100mメッシュ：2009年）を併記したものが図 4-24である。図から、表示した地域のうち、図郭中央を西から東へながれる河川、北西の山地を除くほとんどが、建物用地として細分されていることがわかる。

しかしながら、航空写真をみると、商業施設やオフィスビル等が隣立する地域と、戸建住宅が密集する市街地では、アスファルト舗装の状況は大きく異なっている。すなわち、浸透域と非浸透域の占有面積率が両者で差異があることを示している（図 4-25に模式図を示す）。

広域の水収支検討にあたり、国土数値情報で建物用地とされる地域を対象に、その地域の市街化状況（商業施設が多い、戸建住宅が多い等）と整合させ整理することは容易ではなく、現実的な条件整理とは言えない。したがって、本検討においては、図 4-24中に示す5箇所のサンプルメッシュを抽出し、これらにおいて浸透域、非浸透域の占有面積率を整理することとし、さらにこれらサンプルメッシュの平均の占有面積率を他メッシュに展開することで、建物用地の水収支を検討することとした。なお、サンプルメッシュとした5箇所は、市街地を対象に、「商業用地（駅前）」、「商業用地および住宅地（国道沿線）」、「戸建住宅の密集地その1」、「戸建住宅の密集地その2」、「集合住宅」である。

各メッシュで浸透域、非浸透域の占有面積率を検討したものが表 4-5であり、これらを整理したものが表 4-6である。表 4-6のとおり、いくつかのパターンを有する建物用地のサンプルメッシュを対象に、非浸透域（建物、道路・駐車場）と浸透域（非浸透域以外）のメッシュ内の面積占有率を平均すると、浸透域は0.25、非浸透域は0.75となることがわかった。

以上の結果より、建物用地のこれらの面積率により、水収支解析において建物用地は「建物用地（浸透域）」と「建物用地（非浸透域）」に分類することとした。



1. 商業用地（駅前）、2. 商業用地および住宅地（国道沿線）、3. 戸建住宅の密集地その1、
4. 戸建住宅の密集地その2、5. 集合住宅

図 4-24 サンプルングメッシュ位置図

（国土交通省 電子国土基本図（オルソ画像）および国土数値情報 土地利用細分メッシュデータより作成）

● 国土数値情報で建物用地と分類される一例

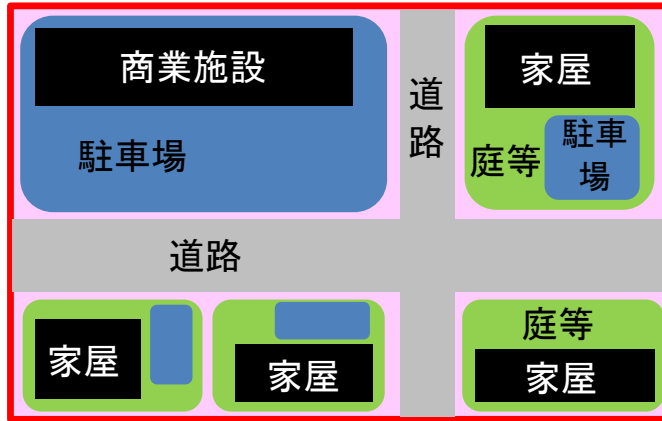


図 4-25 建物用地メッシュの実際 (イメージ)

表 4-5 土地利用サンプリング結果

(国土交通省 電子国土基本図 (オルソ画像) および国土数値情報 土地利用細分メッシュデータより作成)

1. 商業用地(駅前) 2. 商業用地および住宅地 (国道沿線) 3. 戸建住宅の密集地その1 4. 戸建住宅の密集地その2 5. 集合住宅 写真中 赤:建物、黄:道路・駐車場		

表 4-6 建物用地メッシュの占有面積率

サンプル	メッシュ 総面積[m ²]	計測面積[m ²]			占有面積率	
		浸透域	非浸透域		浸透域	非浸透域
			建物	舗装		
商業用地 (駅前)	10,335	254	5,755	4,325	0.02	0.98
商業用地および住宅地 (国道沿線)	10,339	1,933	1,569	6,837	0.19	0.81
戸建住宅の密集地その1	10,337	4,900	3,136	2,302	0.47	0.53
戸建住宅の密集地その2	10,337	4,055	5,018	1,263	0.39	0.61
集合住宅	10,336	2,002	3,301	5,033	0.19	0.81
平均値					0.25	0.75

(3) 営農活動条件の整理

水収支解析にあたり、営農活動（とくに水稻栽培）を条件に見込む。一般的な乾田における水稻栽培では、ある期間において継続または断続的に水田に湛水するため、蒸発散量や浸透量の計算に大きく影響する。

1) 減水深

減水深とは、1枚の水田における蒸発散量と浸透量の和を水深単位で表したものである。水田の水管理の指標として用いられ、これから蒸発散量を差し引いた浸透量が、地下水かん養量の推定に際し、重要な値となる（図 4-26参照）。減水深は、水田が位置する地形条件に左右され、全国的には扇状地で大きく、沖積低地で小さい傾向を示す。なお、水田には、灌漑期間中、常に用水が供給されているわけではない。一般に「代かき期」、「活着期」、「幼穂形成～出穂期」の3期で、その量が多いとされている。

なお、国立市周辺地域における減水深のデータは入手できていない。したがって本検討では、作物学用語集で適正值とされる減水深20～25mm/日や、中村ほか（2008）¹⁰、山崎（1960）¹¹で適正減水深とされている25mm/日などを参考として、本解析範囲全域で25mm/日を採用することとした。

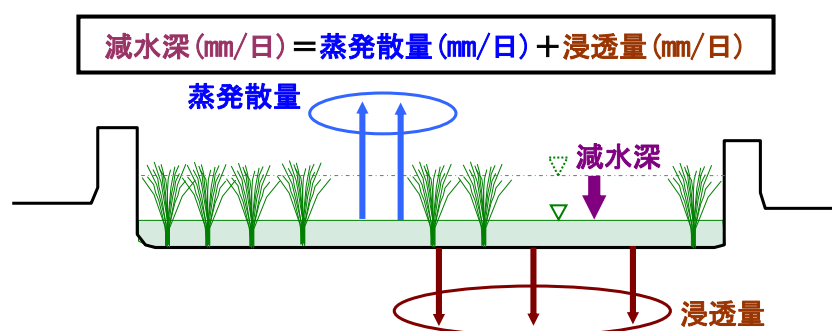


図 4-26 減水深と水田からの浸透量の考え方

¹⁰ 中村和正、鶴木啓二、多田大嗣(2008)：寒冷地水田灌漑および大規模畑地灌漑に適した送配水機能の診断・改善技術の開発，土木研究所，平成20年度 土木研究所成果報告書，No.60，pp.1-15.

¹¹ 山崎不二夫（1960）：水田の減水深，浸透量，土壤物理学会，第3号，pp.9-14.

2) 水稲作付スケジュール

井関農機（株）の「日本各地の栽培暦」¹²を参照して水稲作付スケジュールの検討をおこなった。なお、東京都のデータが整理されていないため、神奈川県と埼玉県を参考とした。

「日本各地の栽培暦」¹²の水管理を見ると、5月上旬頃に代かきをおこない、水田湛水していることがわかる。また、5月下旬～6月中旬頃までは連続的に湛水するが、7月上旬頃に中干しをおこない、その後は間断灌水することになる。7月下旬から8月上旬にかけて集中的に湛水する期間が認められその後、間断灌水をおこなっている。

以上の水稲栽培時の水管理は、地域や品種によっても異なることと考えられるが、対象地域の地域性や品種を計算条件に設定するのは情報収集の観点からも困難と言える。そこで本検討では、上述の2地域の栽培暦を参考として、水稲作付スケジュールを決定し、これを本解析範囲全域に展開することとした。

水田からのかん養量は、水田の連続湛水期間が長く、湛水深も深い代かき期においてとくに増加するものと考えられる。そこで、5月は水田湛水条件を見込むこととした。また、6月も連続湛水することから、人為的な浸透を見込む必要があると考えた。7月は下旬、8月は月上旬～中旬、9月上旬～中旬でそれぞれ水田の湛水期間が認められる。これら期間では間断灌水をおこなうため、断続的な水田からの地下浸透を想定することとした。

以上を踏まえて本検討では、5月～9月を湛水条件を設定する月と設定し、一ヶ月間常時湛水した場合を1.0したときの各月の湛水期間を、それぞれ表 4-7のとおり考えた。なお、表中に示す水田湛水期間係数は、試算により観測値との比較を踏まえて調整した値となる。

¹² 井関農機株式会社：日本各地の栽培暦
<<http://www.iseki.co.jp/farmailand/soshoku/koyomi.html>(2018/03/14アクセス)>

表 4-7 本業務で設定した水田湛水期間係数

期間		神奈川 キヌヒカリ 上段:湛水の状態、下段:係数					埼玉 彩のかがやき 上段:湛水の状態、下段:係数					埼玉 コシヒカリ 上段:湛水の状態、下段:係数					埼玉 キヌヒカリ 上段:湛水の状態、下段:係数					平均				
		湛水	飽水	間断 灌溉	落水	水田湛水 期間係数	湛水	飽水	間断 灌溉	落水	水田湛水 期間係数	湛水	飽水	間断 灌溉	落水	水田湛水 期間係数	湛水	飽水	間断 灌溉	落水	水田湛水 期間係数					
月	旬	1	0.5	0.3	0						1	0.5	0.3	0		1	0.5	0.3	0							
5月	上旬									○					○										0.53	
	中旬					○					○					○								○		0.7
	下旬					○					○					○								○		
6月	上旬	○				○								○											0.48	
	中旬	○							○					○												0.3
	下旬				○				○					○												
7月	上旬				○				○					○											0.40	
	中旬				○				○					○												0.5
	下旬				○				○					○												
8月	上旬	○				○					○					○									0.60	
	中旬	○				○								○												0.8
	下旬				○				○					○												
9月	上旬				○				○					○									○		0.13	
	中旬				○				○					○									○			0.2
	下旬				○				○					○									○			

(4) 蒸発散量の算定

水収支の算定にあたり、蒸発散量を精度良く推定することは水資源賦存量（＝降水量－蒸発散量）¹³の高精度化につながる。本項では、既往研究、当社開発手法について概述し、適切な蒸発散量の推計方法を選定した。

1) 蒸発散量算定式の概要

水収支の検討にあたり、土地利用種別の蒸発散量は、表 4-8に示す手法に基づき算定した。

水田地域とみなすのは国土数値情報で「田」と分類される地域となるが、これは耕作放棄地や転作田を含んだものとなる。したがって、水収支解析の条件としては、作物統計データより水稻作付面積率を予め整理し、適切にモデル化した。なお、当該地域の水稻栽培状況を勘案し、灌漑期における水田への湛水期間を決定する必要がある。

その他、土地利用種別に、小松・澤野の提案式、Suzuki and Fukushima（1985）の式、近藤（2012）の式、蒸発散研究グループ（1967）の式などを使い分けることにより、これまでの検討で一般的であった、ひとつの数学モデルでの一律の検討とは異なり、土地利用種別に異なる数理モデルを用いることでより実態に則した検討が可能となった（図 4-27参照）。

¹³ 国土交通省：日本の水収支
<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/c_actual/actual01.html(2018/03/16アクセス)>

表 4-8 土地利用種別の蒸発散量推計モデル^{14 15 16 17}

国土数値情報土地利用種別		算定手法	備考
大項目	細目		
田	灌漑期	蒸発散研究グループ (1967) の式	湛水期間は5~9月 (月別に変化)
	非灌漑期	Suzuki and Fukushima (1985) の式	
その他の農用地		Suzuki and Fukushima (1985) の式	
建物用地	浸透域	Suzuki and Fukushima (1985) の式	
	非浸透域	降水量-表面流出量	
道路・鉄道		降水量-表面流出量	
その他の用地、ゴルフ場		Suzuki and Fukushima (1985) の式	
荒地		Suzuki and Fukushima (1985) の式	
山岳荒地(岩、万年雪)		降水量-表面流出量	
河川及び湖沼		近藤 (2010) の式	
森林		小松・澤野の提案式	

その他農用地等	$E_a = 0.54 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{S}{\lambda}$	Suzuki and Fukushima (1985) の式
森林	$E_f = E_i + E_e = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda} + \beta P$	小松・澤野の提案式 (小松・澤野によるプレストリー・テラー修正式)
河川及び湖沼	$E_w = -0.9888l^2 + 41.629l + 561.97$	近藤 (2010) の式
田(湛水期)	$E_p = 0.82S_*$	蒸発散研究グループ (1967) の式

E_a : その他農用地の蒸発散量 (mm/month) Δ : 飽和水蒸気曲線の傾き R_n : 純放射量 (MJ/m²) l : 緯度 (°)
 E_f : 森林の蒸発散量 (mm/month) γ : 乾湿計定数 (hPa/°C) G : 地中熱流量 (MJ/m²) $S_* = 10R_n/\lambda$
 E_w : 水域 (河川及び湖沼) の蒸発量 (mm/year) S : 全天日射量 (MJ/m²) α : プレストリー・テラー一定数
 E_p : 湛水した水田からの蒸発散量 (mm/day) λ : 蒸発潜熱 (J/g) β : 樹冠遮断蒸発率

図 4-27 蒸発散量算定^{14 15 16 17}

¹⁴ Suzuki, M. and Fukushima, Y. (1985) : Estimate of evapotranspiration from the land surface of Shiga Prefecture using a digitalized square-grid map database, Lake Biwa Research Institute, 2. 1-55.

¹⁵ 小松, 澤野, 久米, 橋本(2005) : 森林の特性と蒸発散量の関係, 日本森林学会誌, Vol.87, No.2, pp.170-185

¹⁶ 近藤 (2012) : 湖面や海面の蒸発, 天気, 第59 巻, 第6 号, pp.75-78.

¹⁷ 蒸発散研究グループ (1967) : 水田の蒸発散, 農業気象, 第22 巻, 第4 号, pp.13-21.

2) 森林蒸発散量

図 4-28に、森林域における蒸発散のメカニズムを示す。森林域の蒸発散に着目すると、植物が光合成を行う際に根から吸収した水が葉の気孔を通して出て行く現象である「(A) 蒸散」、降雨中あるいは降雨後に濡れた樹冠から水が蒸発する現象である「(B) 遮断蒸発」、土壌面から水が蒸発する現象である「(C) 地面蒸発」の大きく3つに分類することができる。

近藤 (1992)¹⁸によれば、日本は森林面積が諸外国に比べて比較的多く、森林からの蒸発散量は湖からの蒸発散量に匹敵するとしている。さらに、その約40% (年間200mm～500mm) は、降水日の濡れた樹体からの蒸発、すなわち樹冠による遮断蒸発であると述べている。日本の場合、森林からの年蒸発散量は約700mm/year (大槻(1984)¹⁹, 近藤(1994)²⁰)程度で降水量の約39%程度と言われている。なお、日本の年間平均降水量は約1700mmである。また、澤野ほか (2005)²¹によれば、図 4-29に示すとおり、森林域は非森林域に比べて高標高域に位置することが多く、降水量の増大を加味した上での蒸発散量評価が重要であると考えられる。そのほか、京都大学桐生水文試験地における1972年から2004年までの33年間の水収支観測の結果、年間蒸発散量はほとんど変化しておらず750mm/year程度であることが、京都大学農学研究科森林水文研究室により報告されている (図 4-30参照)。この報告によると、植生の遷移・変化にかかわらず、森林には蒸発散量をほぼ一定に保ち続けるなんらかの平準化作用があるとされている。なお、桐生水文試験地における33年間の年間平均降水量は1646mmであり、概ね国内の平均程度の降水量と言える。

以上より、国内の平均的な降水量となる森林域においては、およそ700～750mm/yearの年間蒸発散量が生じているものと思われる。

¹⁸ 近藤 (1992) : 森林における降雨の遮断蒸発量, 水文・水資源学会誌, 第5 巻, 第2 号, pp.29-36.

¹⁹ 大槻恭一, 三野 徹, 丸山利輔(1984) : 気象資料から推定したわが国の蒸発散量, 農業土木学会論文集, 112, pp.25-32,

²⁰ 近藤純正(1994) : 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—, 朝倉書店, 東京

²¹ 澤野真治, 小松光, 鈴木雅一(2005) : 森林における年降水量の農地・都市域との違い—日本全域を対象として—, 水文・水資源学会, Vol.18, No.4, pp.435-440.

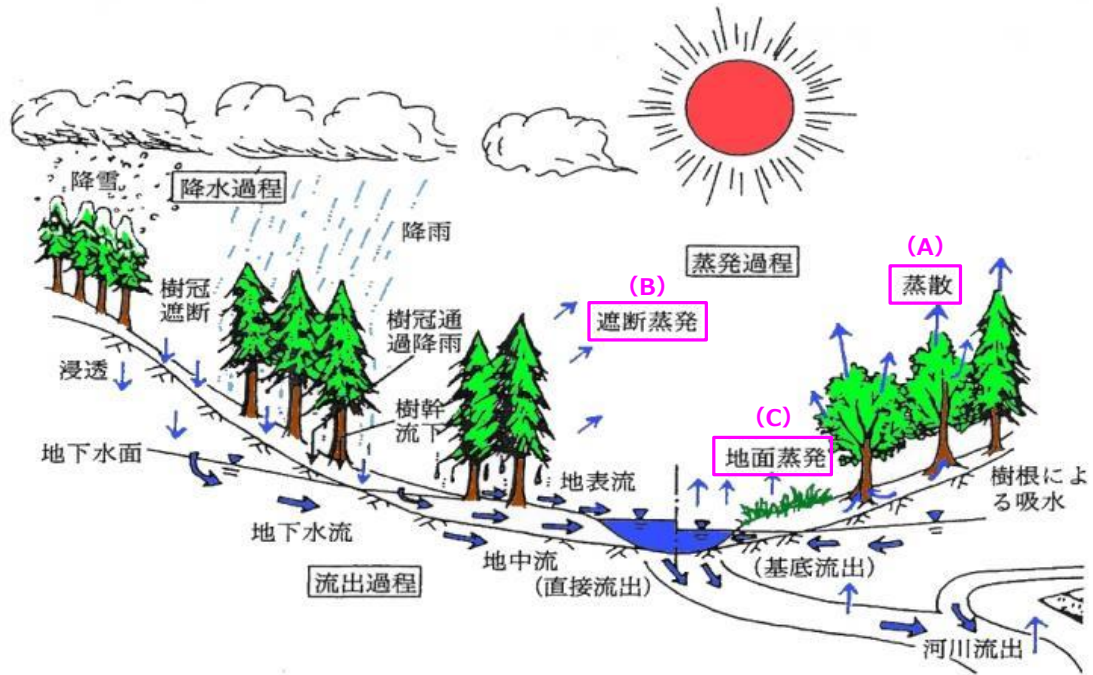


図 4-28 森林域の蒸発散のメカニズム²²

(「太田猛彦「斜面における水文循環の各種成分 (1996)」より作成」に一部加筆)

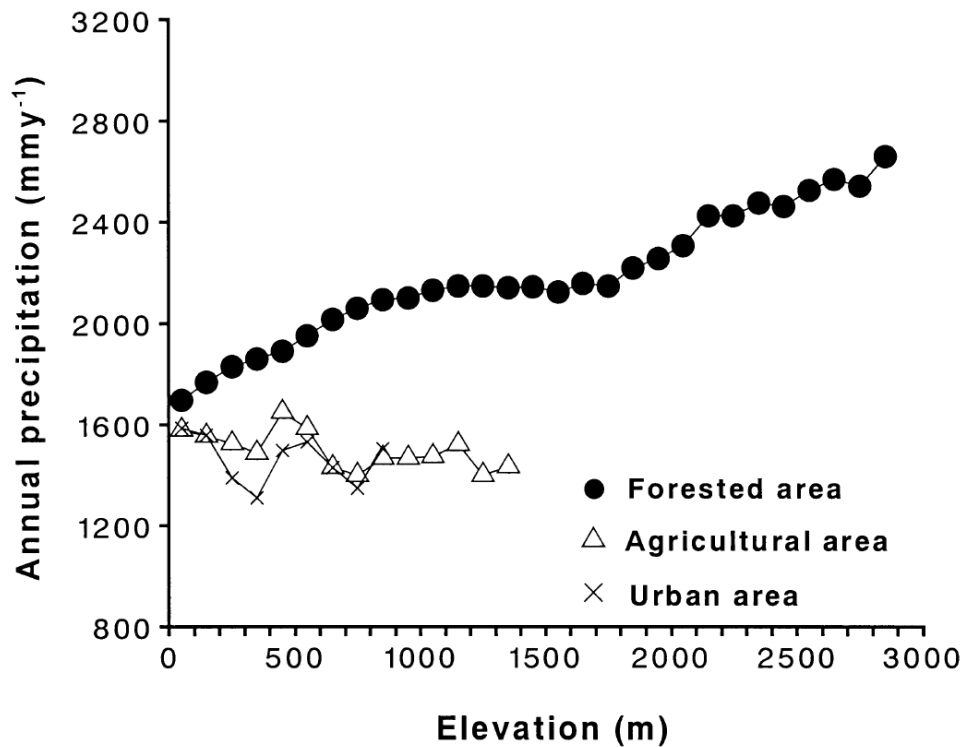


図 4-29 年降水量と標高の関係 (●: 森林, △: 農地, ×: 都市域)²¹

²² 林野庁: 水を育む森林のはなし

<http://www.rinya.maff.go.jp/j/suigen/suigen/con_1.html>(2017/06/15アクセス)

33年間変化しない蒸発散量 — 桐生水文試験地における1972-2004年の水収支観測結果

森林水文新聞

NO.3
2007年11月
発行所
京都大学農学研究科
森林水文学研究室
<http://www.blumoon.kais.kyoto-u.ac.jp>

森林が存在することで、水収支はどのように変化するのか？

「水収支」、すなわち、雨として降った水のうちどれだけがどのようにして水蒸気として大気中に戻り、どのようにして土壌に貯留され、どのようにして川に流出してくるのか、は水文学の基礎である。これを知ること、水と人との関わり合いを知り水管理を行う上での基本情報となる。では、森林が存在することで、水収支はどのように変化するのだろうか。一般に森林土壌は、大雨のときには水をためてゆっくりと下流に流すので、洪水を緩和し、また無降雨時にも水を安定して下流に供給する効果を持っているとされている。また森林などの植生が存在することのもうひとつの効果として、蒸発散量が増え、その分川へ供給される水は少なくなる。このことは、日本のように降水量が多い国ではさほど問題にされることはないが、より雨が少なく蒸発しやすい気候を持つ地域では、水収支の理念に沿った計画なしに植林などの行為を行うと水資源を枯渇させ、大きな問題となる。

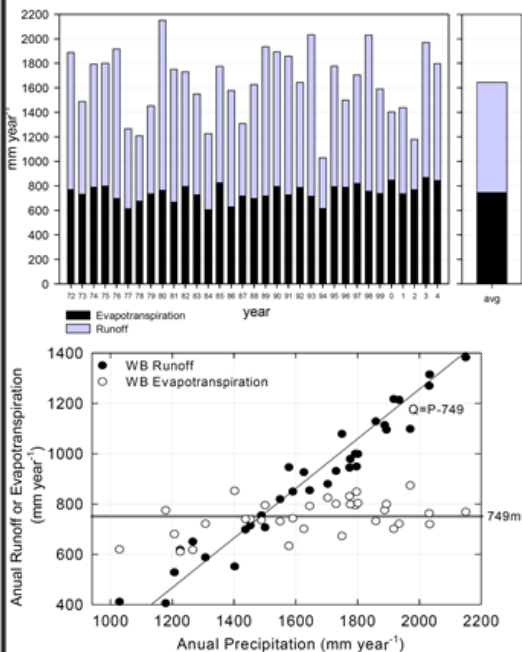
水収支の主要成分のひとつである「蒸発散」は、植生から大気にH₂Oが水蒸気の形で移動する現象を言い、植物が光合成を行う際に根から吸収した水が葉の気孔を通して出て行く現象である「蒸散」、降雨中あるいは降雨後に濡れた樹冠から水が蒸発する現象である「**遮断蒸発**」、土壌面から水が蒸発する現象である「**土壌面蒸発**」の大きく3つに分けられる。森林タイプ・気候の違いによる蒸発散量の違いとその原因・メカニズムは、実はまだ十分解明されていない。桐生水文試験地では30余年におよび水文観測から、森林の変化に伴う蒸発散量の推移をみたところ、植生の遷移・変化にもかかわらず、蒸発散量を**ほぼ一定(750mm程度)**に保ち続けるなんらかの平準化作用があることが明らかになった。

水収支法による蒸発散量 = 雨降水量 - 川流出量 - 山のなかの水貯留変化量

文責: 小杉緑子(1993年修士卒、現・森林水文学研究室助教) 参照: Kosugi and Katsuyama, 2006, J. Hydrol., 334, 305-311

33年間ほとんど変動しない年間蒸発散量

1972年より2004年までのKEWにおける年間水収支をみると平均年降水量は1646mm、最高は1980年の2151mm、最低は1994年の1030mm、年間流出量は平均897mm、最高は1980年の1383mm、最低は1994年の441mmとなり、**年間蒸発散量は平均749mm、最高は2003年の873mm、最低は1984年の609mm**となった。年間蒸発散量は、年間降水量や年間流出量に比べて33年間ほとんど変動しておらず、749mmの周辺にプロットされた。



短期水収支法でも33年間安定した蒸発散量の季節変動

KEWでは1959年に大きな植栽が行われ、1972年から2004年までの33年間に植生は大きく変動している。第一期である1972年から1982年ごろは流域はアカマツヒノキの混交林で1977年ごろには樹高11-2mに達した。第二期である1982年から1988年頃にはアカマツや広葉樹の切り出しが行われた結果ヒノキが卓越するヒノキ若齢林となった。その後第三期である1989年から1994年頃流域に残っていた松枯れにやられたアカマツが台風で倒木する出来事があり、第四期である1995年から2004年頃は概ねヒノキ壮齢林と位置づけられ、現在では樹冠の高さは19,20m程度に至る。この間蒸発散量はほぼ安定した季節変動を取り続けた。

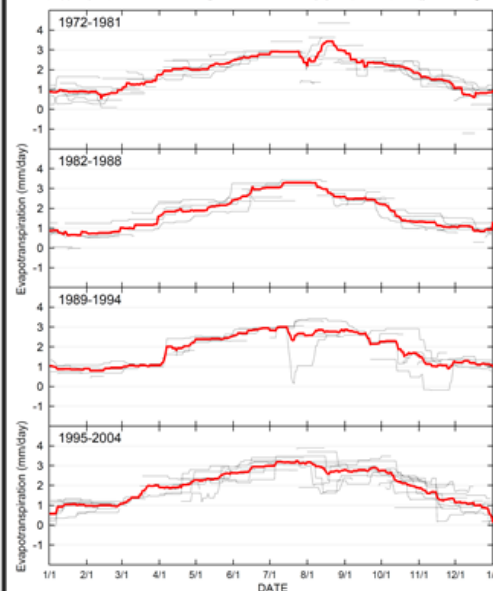


図 4-30 京都大学農学研究科森林水文学研究室「森林水文新聞」²³ に一部加筆

²³ 京都大学農学研究科森林水文学研究室：森林水文森林水文新聞
<<http://www.blumoon.kais.kyoto-u.ac.jp/hydroneews/hydroneews3.pdf>>(2017/06/15アクセス)

3) さまざまな蒸発散量推計方法の比較

本項では、既往の蒸発散量推計手法と本検討採用手法について概説する。

対象が広範にわたり、且つその大部分が気象データの観測が難しい山間地となる場合において、多くのケースでソースウェイト法やハーモン法といった簡易法が採用されてきた。これら手法は、時間変化や種々の土地利用下での詳細な蒸発散量の算定には不向きであるが、計算に必要な気象データは気温のみであることから、データの不十分な広い地域からの長期的な推定によく用いられている²⁴。

ここでは、使用例の多いソースウェイト法とハーモン法を紹介するとともに、本検討で森林域の蒸発散量の推計に採用した小松・澤野の提案式について概説する。

表 4-9に主要な蒸発散量の推計モデルを整理したが、本検討ではこのうち「ソースウェイト法」「ハーモン法」「小松・澤野の提案式等を用いた水収支解析システム」について比較・検証をおこなった。

²⁴ 土木学会（2000）：水理公式集平成11年版，p18

表 4-9 蒸発散量の推計モデル^{25 26}

モデル名称	モデル概要	評価される蒸発散量	必要となる気象データ	適用条件
ソーンズウェイト法	経験式	可能蒸発散量	気温、可照時間	丈の低い草地で密に覆われた地表面から、水不足が起こらない完全湿面の状態で失われる蒸発散量
ハーモン法	経験式	可能蒸発散量	気温、可照時間	気温別の絶対飽和湿度が必要
Komatsuら(2008)の提案法	経験式	平衡蒸発散量	気温	国内の森林域の評価に特化
Komatsuら(2010)の提案法	経験式	平衡蒸発散量	気温	国内の森林域の評価に特化
小松・澤野の提案式	半経験式	平衡蒸発散量	気温、全天日射量、降水量	国内の森林域の評価に特化
ペンマン法	半経験式	可能蒸発散量	気温、湿度、風速、日照時間	森林は適用対象とされていない
ペンマン・モンテース法	半経験式	可能蒸発散量	気温、湿度、風速、日照時間	森林は適用対象とされていない
マンキンク法	半経験式	実蒸発量	気温、全天日射量	地域定数が必要
モートン法	半経験式	実蒸発散量	気温、湿度、風速、日照時間	森林は適用対象とされていない
Brutsaert-Stricker法	半経験式	実蒸発散量	気温、湿度、風速、日照時間	森林は適用対象とされていない

²⁵ Hikaru Komatsu, Eiichi Maita, Kyoichi Otsuki(2008): A model to Estimate Annual Forest Evapotranspiration in Japan from Mean Annual Temperature, Journal of Hydrology, Vol.348, pp.330-340

²⁶ Hikaru Komatsu, Tomonori Kume, Kyoichi Otsurki(2010): A Simple Model to Estimate Monthly Forest Evapotranspiration in Japan from Monthly Temperature, Hydrological Processes, Vol.24, pp.1896-1911.

(a) ソーンズウェイト法

ソーンズウェイトは、植物への水分供給量が増えるにつれて蒸発散量は増加し、最終的に気候条件のみによって決まる値に達すると考え、気温（と緯度から計算される日照時間）のみの関数として可能蒸発散量を推定する以下式を提案した。

$$E_p = 16D_0(10T_j/J)^a$$
$$a = (492390 + 17920J - 77.1J^2 + 0.675J^3) \times 10^{-6}$$
$$J = \sum_{j=1}^{12} (T_j/5)^{1.514}$$

ここで、 E_p ：可能蒸発散量（mm/month）、 D_0 ：可照時間（12時間を1単位とする）、 T_j ：j月の平均気温（°C）、 J ：熱示数である。なお、月平均気温が26.5°Cを超える場合はこの式は使えない。また、月平均気温が0度以下となる場合は $E_p = 0$ とする。

ソーンズウェイトの式は、米国における流域水収支データと条件をコントロールしたライシメータによる実験データを基に誘導された経験式である。したがって、求まる可能蒸発散量については「丈の低い植物（芝、牧草など）で覆われた地表面に十分な水を供給した場合に失われる蒸発散量」と定義されるため、他地域や土地利用状況など、適用サイトの状況により留意が必要となる。

日本では、小型蒸発計蒸発量の季節変動と比較した場合に、冬～春は過小、夏～秋は過大となることが知られている。

(b) ハーモン法

ソーンズウェイト法と同様に、気温のみを用いて、緯度に応じて提案された月別可照時間と日平均気温ごとに示された飽和絶対湿度の値から経験的に定められた可能蒸発散量を求める方法である。

ハーモン法では次式により可能蒸発散量 E_p を求める。

$$E_p = 0.14D_0^2 P_t$$
$$P_t = 216.7(e/(273.15 + t))$$
$$e_{sat} = 6.1078 \times 10^{7.5t/(2733+t)}$$

ここで、 E_p ：可能蒸発散量（mm/day）、 D_0 ：可照時間（12時間を1単位とする）、 P_t ：日平均気温に対する飽和絶対湿度（g/m³）、 e ：水蒸気圧（hPa）、 t ：ある月の日平均気温（°C）、 e_{sat} ：飽和水蒸気圧（hPa）である。なお、ソーンズウェイト法と同じく、求まる可能蒸発散量については「丈の低い植物（芝、牧草など）で覆われた地表面に十分な水を供給した場合に失われる蒸発散量」と定義されるため、サイトの土地利用状況によっては適用に留意が必要となる。

ハーモン法もソーンズウェイト法も同様となるが、実蒸発散量を推定するには、得られた可能蒸発散量に対して地被状態と季節による経験的な係数を乗じることが一般的である。

(c) 小松・澤野の提案式

小松ほか (2005)¹⁴ は、「樹冠が乾いている状態における蒸散量 E_t 」と「樹冠が濡れている状態における遮断蒸発量 E_i 」より、森林の蒸発散量 E を以下式により推定している。

$$E = E_t + E_i$$

月間の蒸散量 E_t を表現するモデルには、次に示すPriestly and Taylor (1972)²⁷の式を用いている。

$$E_t = \alpha E_{eq}$$

ここで、 α はプレストリ・テーラ一定数、 E_{eq} は平衡蒸発量 (mm) である。平衡蒸発量 E_{eq} は、完全湿面からの蒸発量を意味し、次式で表現される。

$$E_{eq} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda}$$

ここで、 Δ は飽和水蒸気曲線の傾き、 γ は乾湿定数 (hPa/°C)、 R_n は純放射量、 G は地中熱流量、 λ は蒸発潜熱 (J/g) である。

つぎに、降雨中の濡れた樹冠面からの蒸発を表す樹冠遮断蒸発 E_i は、次式で求めることができる。

$$E_i = \beta P$$

ここで、 β は樹冠遮断蒸発率、 P は月降水量 (mm) である。

以上から、蒸散量 E_t と遮断蒸発量 E_i を考慮した森林域の蒸発量 E は、次式のとおり変換できる。

$$E = E_t + E_i = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda} + \beta P$$

²⁷ Priestley, C.H.B., and R.J. Taylor. (1972): On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Mon. Weather Rev., 100:81-82.

なお、Sawano et al. (2015)²⁸を参考に上式のパラメータおよび状態数として、次式を採用した。月単位の検討の際は地中伝導熱の変化を無視できるため、 $G=0$ として扱う。ここに、 β_s は降雪時の樹冠遮断蒸発率、 S は全天日射量である。本検討では試算により、観測値を再現できる β_s 値を決定した。村井(1970)²⁹によると、ある地域の降雪時の樹冠遮断蒸発率は年間で0.253~0.347、月別では0.247~0.442と報告されており、本検討での設定値は概ね妥当な値であると判断した。なお、月平均気温が0°C以下の場合は樹冠遮断蒸発が生じにくいと考え、 $\beta_s = 0.1$ を設定した。

$$\alpha = 0.0014T + 0.3027$$

$$\beta = 0.18 + 0.08 \cos \left[(M - 8) \times \frac{\pi}{12} \right], \quad \beta_s = 0.35(T > 0), 0.10(T \leq 0)$$

$$R_n = 0.8S$$

²⁸ Sawano, S. · Hotta, N. · Tanaka, N. · suboyama, Y. and Suzuki, M. (2015) : Development of a simple forest evapotranspiration model using a process-oriented model as a reference to parameterize data from a wide range of environmental conditions, Ecological modeling, Vol. 309-310, pp.93-109.

²⁹ 村井(1970) : 森林植生による降水のしゃ断についての研究, 林試研報, Vol.232, pp.25-64.

(d) 蒸発散量推計モデルの比較・検証

表 4-10は森林域を多く有する岩手県を例に、各手法において求めた年間蒸発散量を整理したものである。なお、ソーンズウェイト法とハーモン法で必要となる可照時間は、各メッシュの緯度情報を基に算出した太陽赤緯等を用いて計算した理論上の最大日照時間である。すなわち、メッシュごとの気温データと緯度情報から地域特性を反映できるように工夫している。なお、計算はすべての手法で月別におこなっており、図にまとめた年間値は月別の蒸発散量を総和したものである。

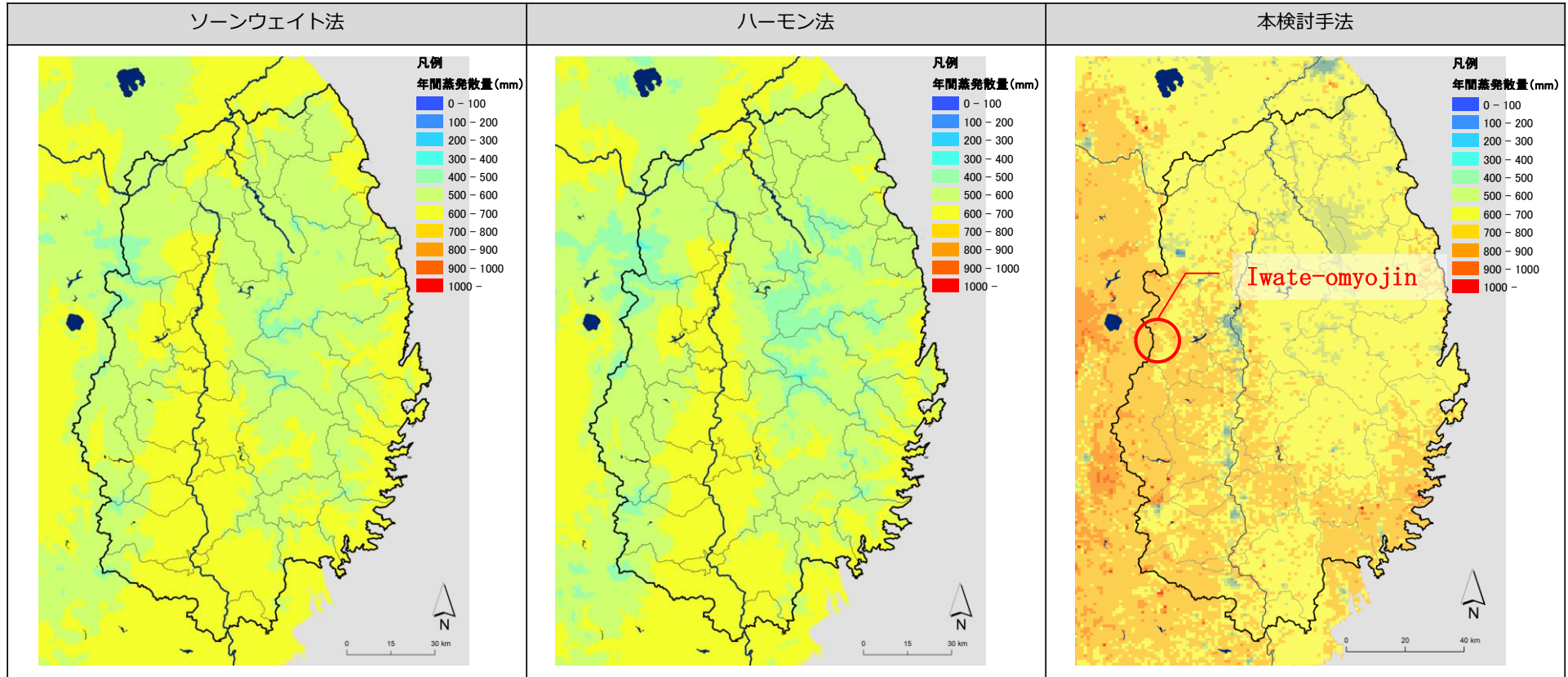
ソーンズウェイト法とハーモン法で求まる蒸発散量の分布傾向はほぼ同じで、気温の高い地域で多く、低い地域で少ない。土地利用に応じた分布特性はみられない。なお、ハーモン法の結果を見ると奥羽山脈や北上山地等の高標高地域で蒸発散量は300mm/yearとなる箇所が散見され、ハーモン法がより気温の影響度が強いように思われる。

一方、採用手法の結果については土地利用種別と蒸発散量分布の関係が強いことがわかる。とくに建物用地では蒸発散量が少ない。これは、降水量のほとんどが表面流出するためであり、実態を反映した結果と言える。また、樹冠遮断蒸発を考慮しているため、奥羽山脈の多雨地域では蒸発散量が多く評価されている。なお、Sawano et al. (2015)³⁰によると、“Iwate-omyojin”というサイトで水収支計算の結果、蒸発散量(降水量－表面流出量)は800mm弱となっている。御明神(Omyojin)という地域は表 4-10の採用手法の図中赤丸地点に位置し、本解析結果は700mm～800mm程度を示していることから、両者は概ね同程度と考えられる。

以上より、採用手法は気温に加え土地利用種別を考慮しているため、より現実に則した計算を行っている。また、解析結果は文献値から大きく外れていない。よって、採用手法は他の2手法よりも適切な手法であり、推計値も妥当な範囲にあると考えられる。

³⁰ Sawano, S. ・Hotta, N. ・Tanaka, N. ・suboyama, Y. and Suzuki, M. (2015) : Development of a simple forest evapotranspiration model using a process-oriented model as a reference to parameterize data from a wide range of environmental conditions, Ecological modeling, Vol. 309-310, pp.93-109.

表 4-10 いくつかの推計手法により評価した蒸発散量（左：ソーンスイート法、中：ハーモン法、右：本業務採用手法）



(5) 表面流出量の算定

表面流出量は、対象地域を10mメッシュで細分し、各メッシュごとに集中型概念モデルとなる合理式を適用した。このとき得られる流出量は、気象データの時間分解能にあわせてひと月単位となる。つまり、10mメッシュごとの月別降水に起因して表面流出する水は、その月にすべて海洋に流出するとみなすことで、便宜的に分布型としての機能を具備させることができる。

具体的には、10mメッシュ単位に整理した土地利用種別のメッシュ占有面積および土地利用種別の流出係数を降水量に乗じることにより、表面流出量を概算した。

流出係数は降雨および流域の特性に応じて異なるものである。したがって、一義的には決めにくい、「社団法人日本道路協会 道路土工一排水工指針」³¹を参考にし、本検討では土地利用種別の流出係数を表 4-11のとおり設定した。なお、降雨確率年の低い排水施設的设计時に参考とする流出係数や、カルバートのような降雨確率年の比較的高い施設的设计時に参考とする流出係数なども参考にしている。また、河川計画検討時に用いる流出係数³²は河川の治水計画検討において洪水時のピーク流出量を評価するものであるため、ここで整理したものより若干大きい値となっている。本検討では、出水ごとの評価ではなく、年間通じての評価であるため、降雨確率年の低い排水施設設計時の流出係数を主に参考にすることとした。

また、山地の森林域や荒地では、冬季に降雪、積雪が生じるため、表面流出を評価する上で、これらの「水量のストック効果」を無視できない。そこで本検討では、水収支解析に融雪出水モデルを組み込み、表面流出量の評価の精度向上をはかった。融雪出水モデルの詳細については、次項の「(6) 積雪水量・融雪出水量の評価」を参照されたい。

表 4-11 土地利用種別に設定した流出係数

国土数値情報土地利用種別		流出係数	備考
大項目	細目		
田	灌漑期	0.8	工種別基礎流出係数の最大値
	非灌漑期	0.3	その他の農用地と同様
その他の農用地		0.3	工種別基礎流出係数の最大値
建物用地	浸透域	0.3	その他の農用地と同様
	非浸透域	0.95	工種別基礎流出係数の舗装・屋根の最大値
道路・鉄道		0.95	建物用地・非浸透域と同様
その他の用地、ゴルフ場		0.3	その他の農用地と同様
荒地		0.3	その他の農用地と同様
山岳荒地(岩、万年雪)		0.95	降水量のほとんどが一旦流出すると推定
河川及び湖沼		1	すべて流出
森林		流出量は、(降水量－蒸発散量) × (1－地下浸透率) により算出	

³¹ 社団法人日本道路協会(1983)：道路土工一排水工指針

³² 建設省(1997)：河川砂防技術基準(案) 調査編

(6) 積雪水量・融雪出水量の評価

水収支の評価に当たり、とくに高標高域において、積雪の影響を無視できない場合がある。本業務では、降雪・積雪・融雪のプロセスを組み込み、水収支解析をおこなった。

1) 降雪

降水形態を雪（固体）と雨（液体）の2つに大別して、月平均気温により固体と液体の降水の割合を決定した。この際、月平均気温が 4.5°C 以上では全てを降水、 0.5°C 以下では全てを降雪と考えるほか、その間の気温での降水形態割合は、 4.5°C と 0.5°C を直線でつなぐ月平均気温の一次式として表現した（図 4-31）。

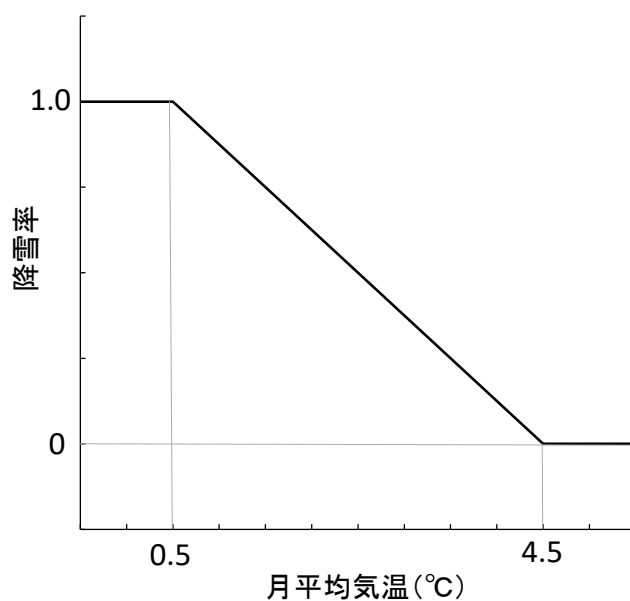


図 4-31 月平均気温を用いた雨雪判別の考え方

2) 積雪・融雪

積雪は、降雪が生じた場合に、蒸発散量を差し引いた水量が、そのまま積雪すると仮定した。このとき、積雪により任意地点に留まる雪の量は、収支計算の観点より「積雪水量」として考えた。つまり、メッシュ毎に月降雪水量と月融雪水量の収支より月積雪量を求めることとなる。なお、積雪深の評価は雪質によるところもあり、評価が難しい。

積雪後、気温の上昇とともに融雪するため、この過程についても考慮する必要がある。融雪過程を考慮する期間は、月積雪量が無くなるまでの期間とした。

本検討では、融雪水量の算出については気温のみを入力とする融雪係数法を用いている。とくに、積雪時の日融雪量が日平均気温の一次式で表され、気温が氷点下の場合には定数項のみ融雪すると考えるため、この方法はデグリー・デイ法とも呼ばれる。

デグリー・デイ法を適用した融雪出水の算定式は、次のとおりである。

$$R_s = (K \cdot T + M_b) n_d$$

ここで、 R_s は月融雪出水量 (mm)、 K は融雪係数 (mm/day/°C)、 T は月平均気温 (°C)、 M_b は積雪底面流出量(mm/day)、 n_d は月別の日数(day)である。

参考として、表 4-12には本式の定数を設定したMotoyama (1990) の例を示す。

表 4-12 融雪出水モデル（デグリーデイ法）の定数の事例（Motoyama(1990)に一部加筆）³³

TABLE 1. Set of parameters for snow depth calculation. Column notation is T : Air Temperature in February, P : Precipitation in February, W : Wind speed in February, H : Maximum snow depth, b : Precipitation gage deficiency parameter ($b' = 1/b$), T_{c1} : critical temperature for snow/rain separation, η' : coefficient of compactive viscosity factor $\eta(\rho) [= \eta' \exp(K\rho)]$, T_{c2} : critical temperature of $\eta(\rho)$ [if $T \geq T_{c2}$ then $\eta(\rho) = 0.5\eta' \exp(K\rho)$; $T < T_{c2}$ then $\eta(\rho) = \eta' \exp(K\rho)$], Ms : snowmelt at air-snow interface, Mb : snowmelt at snow-ground interface, O : observed snow depth (cm), C : calculated snow depth (cm), n : total data number ($O \neq 0$ or $C \neq 0$), ($\rho_{\text{new}} = 100 \text{ kg m}^{-3}$, $K = 21.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$).

Station	Latitude	Altitude (masl)	T (°C)	P (mm)	W (m s ⁻¹)	H (cm)	b (b')	T_{c1} (°C)	η' (kg d m ⁻²)	T_{c2} (°C)	Ms (mm d ⁻¹)	Mb (mm d ⁻¹)	$\frac{1}{n} \sum O - C $ (cm)
1. Shumarinai	142°10'	255	-13.1	77	1.2	191	0.74 (1.35)	0	13.5	-2	$7T$	0.5	10
2. Iwamizawa	141°47'	42	-8.3	72	2.8	137	0.63 (1.6)	0	16	-2	$6(T+2)$	0.5	10
3. Kutchan	140°45'	174	-8.2	164	1.6	222	0.67 (1.5)	0	15	-2	$6(T+2)$	0.5	12
4. Tokamachi	138°44'	170	-2.0	262	—	336	0.67 (1.5)	1	14	-2	$5T$	0.5	19
5. Takada	138°15'	13	-0.1	347	2.7	324	0.77 (1.3)	3	13	0	$4T$	0.5	14
6. Toyama	137°12'	9	0.3	173	3.0	117	0.71 (1.4)	2	14	-2	$6T$	0.5	10
7. Kanazawa	136°33'	26	1.1	113	2.3	113	0.67 (1.5)	3	15	-2	$5T$	1.0	8
8. Fukui	136°03'	9	0.5	120	2.6	120	0.71 (1.4)	1	12	-2	$7T$	1.0	8
9. Sapporo	141°20'	17	-5.6	148	2.2	127	0.77 (1.3)	0	12	-2	$5.5T$	0.5	14

1, 2, 3, 9: Hokkaido region (northern Japan); 4, 5, 6, 7, 8: Honshu region (central Japan).

³³ Motoyama, H (1990) : Simulation of Seasonal Snowcover Based on Air Temperature and Precipitation, Journal of Applied Meteorology, Vol. 29, pp.1104-1110.

3) 融雪出水量の計算手順

融雪出水量計算フローチャートを図 4-32に示す。融雪出水量の計算にあたり、前述した降雪、積雪、融雪に関する評価方法より、各月ごとに降雪量 P_s および融雪出水量 S_m を算出した。積雪タンク T_{snow} は、前月の T_{snow} から S_m を差し引いた値に、 P_s から遮断蒸発量 I_s を差し引いた値を加算することで求まる。なお、本検討では8月に積雪タンクが空になるとして融雪出水量を算出している。

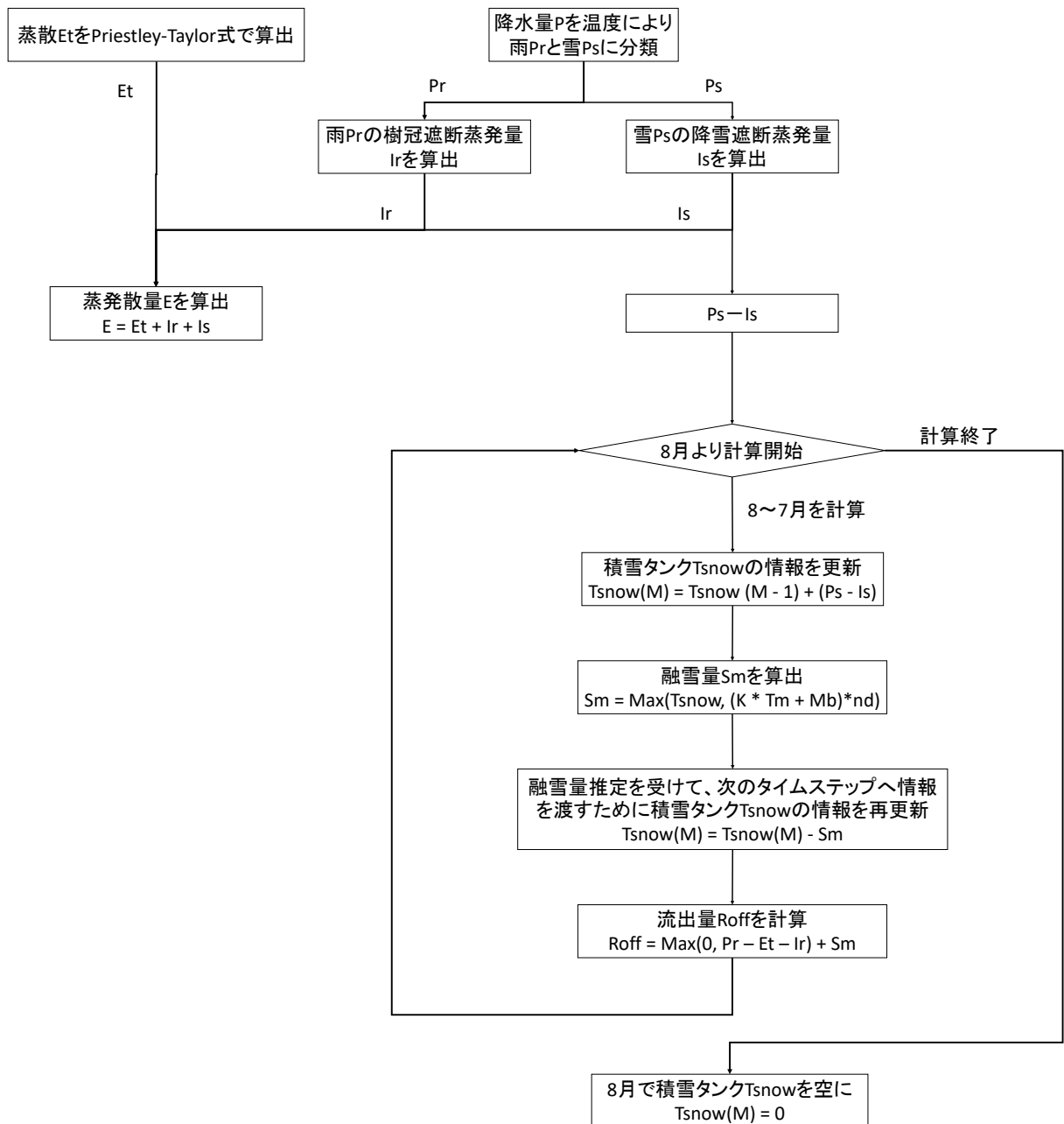


図 4-32 融雪出水量計算フローチャート

(7) 地下水かん養量の算定

地下水かん養量は、山地（森林、山岳荒地）以外の地点では、月ごとの降水量から、計算で得られた蒸発散量と表面流出量を差し引いて推計した。

一方、山地では、融雪出水を見込むことにより、月をまたぎストックされた水量が生じるため、月ごとの収支をとることはできない。そこで、山地では沢や河川に流出する水は、その流出の過程でいくらかが地下に浸透し、これが遅い中間流出や基底流量にあたると考えて、計算上の全流出量に地下浸透率を乗じて地下水かん養量を評価することとした（したがって、表面流出量は計算上の全流出量から地下水かん養量を引いたものとなる）。

地下浸透率は、地質によって変化するものと考えられる。そこで本検討では、日本の地形・地盤デジタルマップ（若松ほか、東京大学出版会）をもとに、日本全国の地質を類型化した。類型化の際の分類は「第四紀火山岩」「完新統」「更新統」「第三紀火山岩」「第三紀堆積岩」「先第三紀深成岩」「その他（堆積岩、変成岩など）」の7つである（図 4-33参照）。これらごとに地下浸透率を設定しており、地下浸透率は観測データを参考に、「第四紀火山岩」以外を0.2とした。

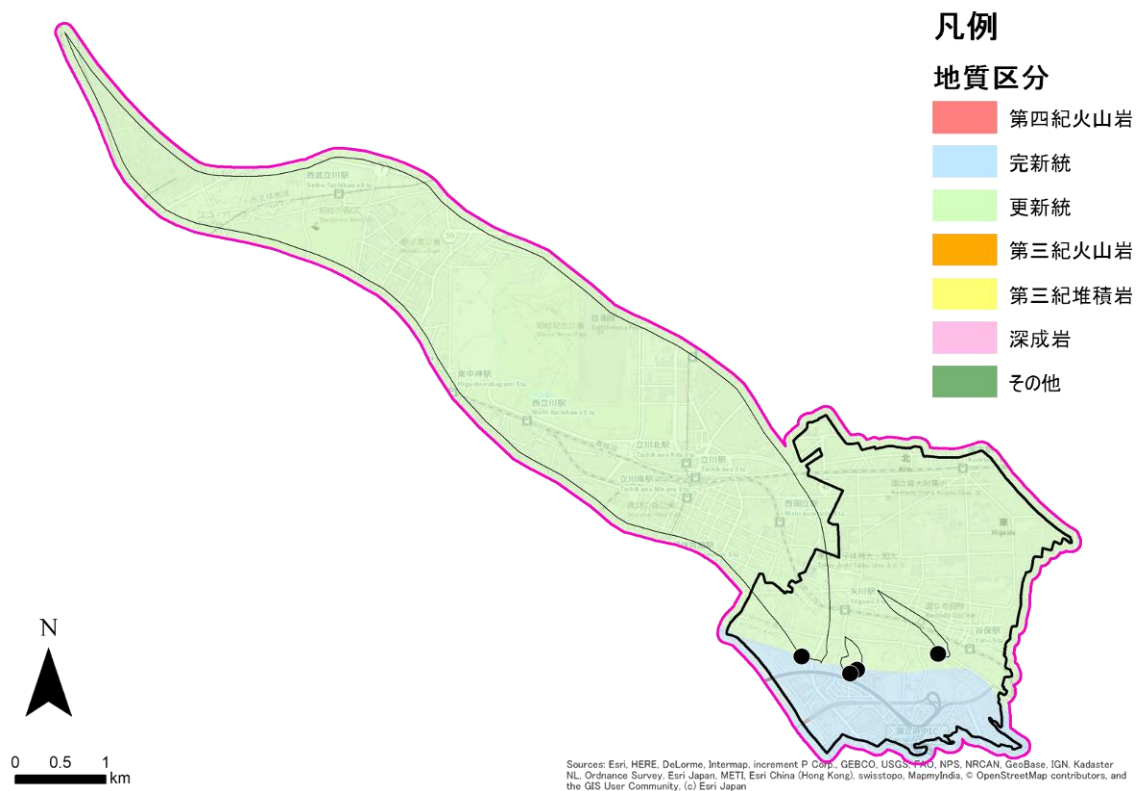


図 4-33 類型化した地質の分布図

4.3.5 水収支解析

本項では、モデルの計算条件、水収支解析結果および考察について整理した。

(1) 水収支解析結果と考察

表 4-13には現況の土地利用情報を用いた水収支解析の計算条件を整理した。

水収支解析のもっとも重要な計算条件となる気象データには「メッシュ平年値2010(気象庁)」を用いる。メッシュ平年値2010データは、統計期間1981～2010年、156地点の気象台・測候所等と約1,100地点のアメダスの平年値を使って、1kmメッシュで推定したものである。本データは、以下の特長を有する。

- ・年の変動を受けにくい平均的な値を示している。
- ・推定にあたっては、観測地点の平年値と標高・勾配などの地形因子および都市因子との統計的な関係を重回帰分析によって調べ、得られた重回帰式で各1kmメッシュの地形因子・都市因子から平年値を算出している。
- ・空間的な補間方法として、代表的なティーセン分割や逆距離加重法(距離に応じたウェイトをかけて、近い位置の値から大きな影響を受けるように補間する手法)といった、観測地点のポイントデータ、距離による方法ではなく、地形因子および都市因子を考慮しており、より詳細な補間が実施されている。

次に、本解析で用いたパラメータ値を表 4-14に示す。緒方ほか(2017)³⁴がおこなった日本全国の計算値と連続流量観測データを用いた検証に基づき、パラメータ調整を図ることでモデルのキャリブレーションをおこなった。以上の作業により、各パラメータ値を確定した。

表 4-13 水収支解析の計算条件

項目	備考
降水量	メッシュ平年値2010：月別データ(気象庁)を解析雨量(国交省・気象庁)で補正
気温	メッシュ平年値2010：月別データ(気象庁)
全天日射量	メッシュ平年値2010：月別データ(気象庁)
土地利用種別面積	国立市貸与データ、旧版地形図
減水深	25mm/day (農業土木ハンドブックなど)
水田湛水期間	5月～9月を湛水期間(栽培暦をもとに計算値と観測値の比較により調整)
水稲作付面積率	市町村別に水稲作付面積/田耕地面積により算出(H27作物統計)
山地浸透率	地質ごとに設定(計算値と観測値の比較により調整)
融雪出水	融雪係数6.0、積雪底面流出量1.5(既往文献を参考に、計算値と観測値の比較により調整)
建物用地の浸透域率	サンプリング調査により0.25とした
河川伏流量	マップ作成条件には見込んでいない

³⁴ 緒方陸, 富樫聡, 山本晃, 高橋努, 澤野真治(2017): 日本特有の森林水文性と営農条件を反映した資源マップ作成, 公益社団法人日本地下水学会2017年秋季講演会, 青森, pp 212-217

表 4-14 設定したパラメータ

表面流出率		
土地利用種別	流出係数	備考
田(耕作地)	0.8	人為系:0.8、自然系:0.3
田(耕作放棄地)	0.3	
その他農用地	0.3	
森林	9999	降水量-蒸発散量で計算
荒地	0.3	
建物用地(非浸透域)	0.95	
建物用地(浸透域)	0.3	
道路	0.95	
鉄道	0.95	
その他用地	0.3	
河川・湖沼	1	
海浜	0.3	
海水域	1	
ゴルフ場	0.3	
山岳荒地	0.95	

森林の蒸発散量推計のための数学モデル		
項目	式	備考
森林の蒸発散量E	$E = E_t + E_i$	
蒸散量 E_t	$E_t = (\alpha * \Delta * R_n) / ((\Delta + \gamma) * \lambda)$	
樹幹遮断蒸発率 E_i	$E_i = \beta * Pr$	Pr: 降水量(mm/day)
水の蒸発潜熱 λ	$\lambda = 2500.8 - 2.3668 * T$	[J/kg]
飽和水蒸気圧 $esat$	$esat = a * \exp \{ (b * T) / (T + c) \}$	[hPa] Murray式
湿度-飽和水蒸気圧曲線の傾き Δ	$\Delta = bc * esat / (T + c)^2$	[hPa/°C]
乾湿計定数 γ	$\gamma = C_p * P / (\epsilon * \lambda)$	[hPa/°C]
大気圧P	$P = 1013 - 0.1093 * A$	[hPa] A: 標高 [m]
純放射量 R_n	$R_n = 0.8 * S$	Komatsu(2010) S: 全日射量
プレストリテラー定数 α	$\alpha = 0.014T + 0.3027$	Sawano et al. (2015)を参考に実測データより調整
非森林域の蒸発散量 E_{t2}	$E_{t2} = (0.54 * \Delta * R_n) / ((\Delta + \gamma) * \lambda)$	Suzuki and Fukushima
湛水した水田からの蒸発量 E_p	$E_p = 0.82 * 10 * R_n / \lambda$	
樹冠遮断蒸発率 β	$\beta = 0.18 + 0.08 \cos[2\pi/12 * (M - 8)]$	Sawano et al. (2015)
パラメータ	値	備考
a	6.1078	[hPa]
b	17.2693882	水面上
c	237.3	水面上
空気の低圧比熱 C_p	1.00042	[kJ/°C/kg]
ϵ	0.622	水蒸気と乾燥空気の密度比

融雪出水量の計算に用いるパラメータ		
項目	式	備考
流雪出水量 R_s (mm)	$R_s = (K * T + Mb) * nd$	T: 月平均気温(°C)、nd: 月日数(day)
項目	値	備考
融雪係数K(mm/day/°C)	6.0	Motoyama(1990)および流量連続観測データより設定
積雪底面流出量Mb(mm/day)	0.5	Motoyama(1990)および流量連続観測データより設定
樹冠遮断蒸発率 β_s	0.35 (T≤0⇒0.1)	樹冠による降雪遮断蒸発率
降雪量補正率	1.00	降雪時の降水量補正率(捕捉率0.8×降雪補正率2/3より算定)

山地における地下浸透率		
項目	値	備考
第四紀火山岩	0.50	地質形成および現地観測データより設定
完新統	0.20	地質形成および現地観測データより設定
更新統	0.20	地質形成および現地観測データより設定
第三紀火山岩	0.20	地質形成および現地観測データより設定
第三紀堆積岩	0.20	地質形成および現地観測データより設定
先第三紀深成岩	0.20	地質形成および現地観測データより設定
その他(堆積岩、変成岩など)	0.20	地質形成および現地観測データより設定

水域の蒸発量水系のための数学モデル(近似式)		
項目	式	備考
水域の蒸発散量 E_w	$E_w = ax^2 + bx + c$	[mm/yr] x: 緯度
パラメータ	値	備考
a	-0.98877709	近藤(2012)より
b	41.62861197	近藤(2012)より
c	561.9685243	近藤(2012)より

国立市および主要湧水地点（ママ下湧水、郷土文化館下の湧水、谷保天満宮 常盤の清水）の推定集水域について、5時期（大正6-13年、昭和19-29年、平成3-4年、平成19年、平成29年）の水収支解析を実施した。各地域の土地利用割合を示したグラフおよび年間かん養量の推移のグラフと、各時期の土地利用および年間かん養量の図を、人口の推移と併せて図 4-34～図 4-37に示す。図中には主要湧水地点を示している。なお、図 4-34～図 4-37に示した土地利用および年間かん養量の図は、拡大したものを巻末資料に整理している。

以上の図より読み取れる国立市および主要湧水地点推定集水域の特徴を以下に整理した。

これら水収支解析の結果は、降水量、気温、全天日射量、土地利用などの影響を受けて空間的に変化する。本解析は土地利用種別に解析をおこなっているため、詳細な土地利用を反映した結果となった。

【国立市】

- ・大正6年～大正13年および昭和19年～昭和29年の土地利用によれば、立川段丘面には森林やその他の用地が、青柳段丘面にはその他の農用地や建物用地が、多摩川沖積低地には田が分布している
- ・平成3年～平成4年の土地利用によれば、立川段丘面の森林・その他の用地、青柳段丘面のその他の農用地の多くが建物用地に変化しており、急速に都市化したことがわかる
- ・平成19年および平成29年の土地利用によれば、多摩川沖積低地の田が建物用地に変化している
- ・土地利用種別割合の推移からも、建物用地の割合が平成3年～平成4年以降に急速に増加していることから、都市化が進行したことがわかる
- ・大正6年～大正13年および昭和19年～昭和29年の年間地下水かん養量の図によれば、多摩川沖積低地のかん養量は比較的多く、水田の寄与が大きいと考えられる
- ・5時期の年間地下水かん養量の図からは、年間地下水かん養量は減少傾向にあることがわかるが、これは、都市化により建物用地へ土地利用が変化し、非浸透域が増加したことによる影響であると考えられる
- ・年間地下水かん養量のグラフを見ると、年々地下水かん養量が減少していることが見てとれる
- ・国立市域では、田の減少によるかん養量減少も大きいですが、湧水量減少の主な要因としては、台地（立川段丘面、青柳段丘面）上の土地利用変化（都市化）の影響が大きいと考えられる

【ママ下湧水】

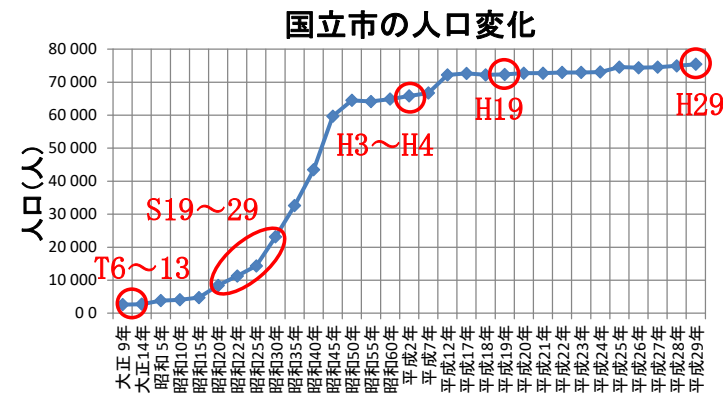
- ・大正6年～大正13年および昭和19年～昭和29年の土地利用によれば、ママ下湧水の推定集水域の大部分は、森林やその他の用地が占める
- ・平成3年～平成4年の土地利用によれば、森林やその他の用地の多くが建物用地に変化しており、急速に都市化したことがわかる
- ・一方、ママ下湧水の推定集水域内には昭和記念公園が位置しており、この地域では、過去から現在にかけて都市開発はほとんどされていない
- ・土地利用種別割合の推移からも、建物用地の割合が平成3年～平成4年以降に急速に増加していることから、都市化が進行したことがわかる
- ・5時期の年間地下水かん養量の図からは、年間地下水かん養量は減少傾向にあることがわかり、都市化により建物用地へ土地利用が変化し、非浸透域増加の影響であると考えられる
- ・年間地下水かん養量のグラフを見ると、地下水かん養量は減少傾向にあることがわかる
- ・現在の昭和記念公園はママ下湧水推定集水域の面積のうち、約1割を占めており、豊富な湧水量に占める影響も大きいと考えられる

【郷土文化館下の湧水】

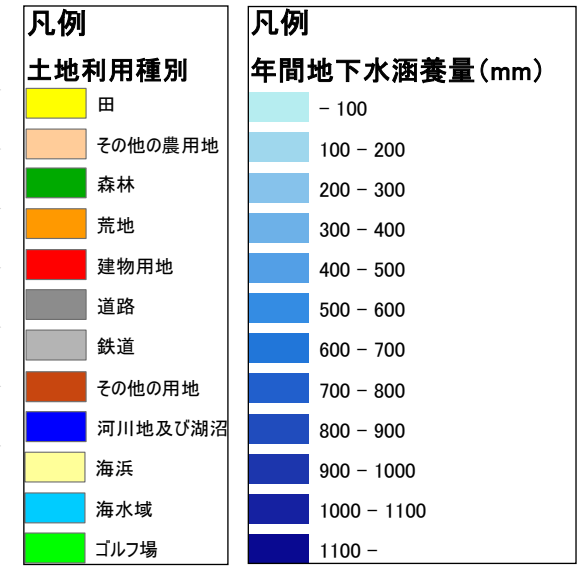
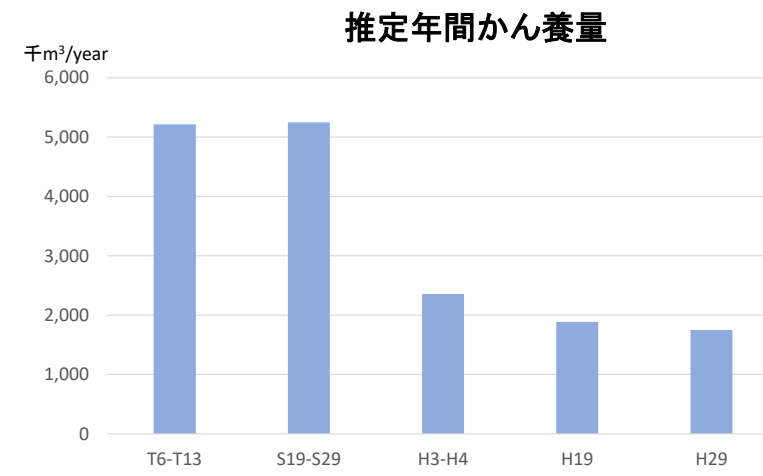
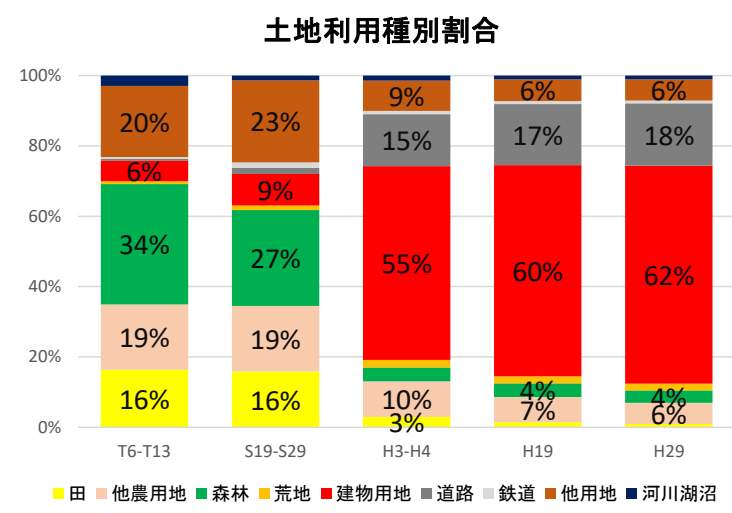
- ・大正6年～大正13年および昭和19年～昭和29年の土地利用によれば、郷土文化館下の湧水推定集水域の大半をその他の農用地が占めている
- ・平成3年～平成4年以降の土地利用によれば、その他の農用地の大部分が建物用地に変化しており、急速に都市化が進行したことがわかる
- ・一方、大正6年～大正13年から現在にかけて、一部はその他の農用地として残存しているものも見られる
- ・土地利用種別割合の推移からも、建物用地の割合が平成3年～平成4年以降に急速に増加していることから、都市化が進行したことがわかる
- ・一方、郷土文化館下の湧水推定集水域のうち、森林が占める面積も増加している
- ・5時期の年間地下水かん養量の図からは、地下水かん養量は減少傾向にあることがわかる
- ・現在の郷土文化館下の湧水推定集水域に占めるその他の農用地や森林は、現在の湧水量に少なからず寄与していると考えられる
- ・郷土文化館は平成6年に建設された。その後の集水域の土地利用変化からは、浸透性の乏しい建物用地の増加が認められる（図 4-38）。

【谷保天満宮 常盤の清水】

- ・大正6年～大正13年および昭和19年～昭和29年の土地利用によれば、郷土文化館下の湧水推定集水域の大半をその他の用地・その他の農用地が占めている
- ・平成3年～平成4年の土地利用によれば、谷保天満宮 常盤の清水推定集水域に占めていたその他の農用地やその他の用地の大部分が、建物用地に変化しており、急速に都市化が進行していることがわかる
- ・土地利用種別割合の推移から、平成3年～平成4年に建物用地の割合が約7割まで急速に増加しているが、平成19年および平成29年には約6割程度に落ち着いていることから、現在は、都市開発は落ち着いていると考えられる
- ・5時期の年間地下水かん養量の図からは、年間地下水かん養量は減少傾向にあることがわかるが、これは、都市化により建物用地へ土地利用が変化し、非浸透域が増加したことによる影響であると考えられる
- ・年間地下水かん養量のグラフを見ると、地下水かん養量は減少傾向にあることがわかる
- ・谷保天満宮 常盤の清水推定集水域内に、現在わずかに残っている森林やその他の農用地、その他の用地が与える湧水量への寄与は大きいと考えられる



出典：
 大正9年～平成17年：東京都の統計 第2表 人口
 (<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tjinko/2009/to-data.htm>)
 平成18年～平成29年：統計くじたち



T6-T13

S19-S29

H3-H4

H19

H29

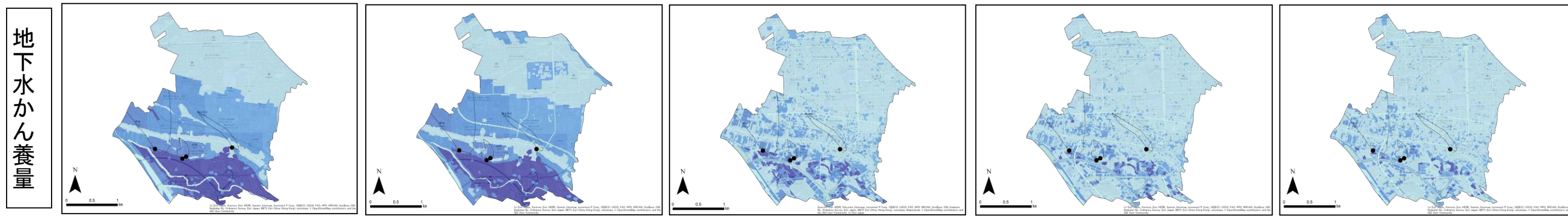
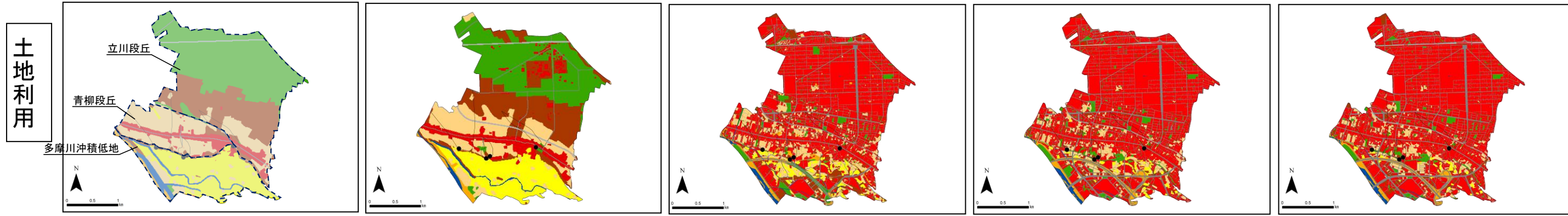


図 4-34 土地利用変化と地下水涵養量変化 (国立市)

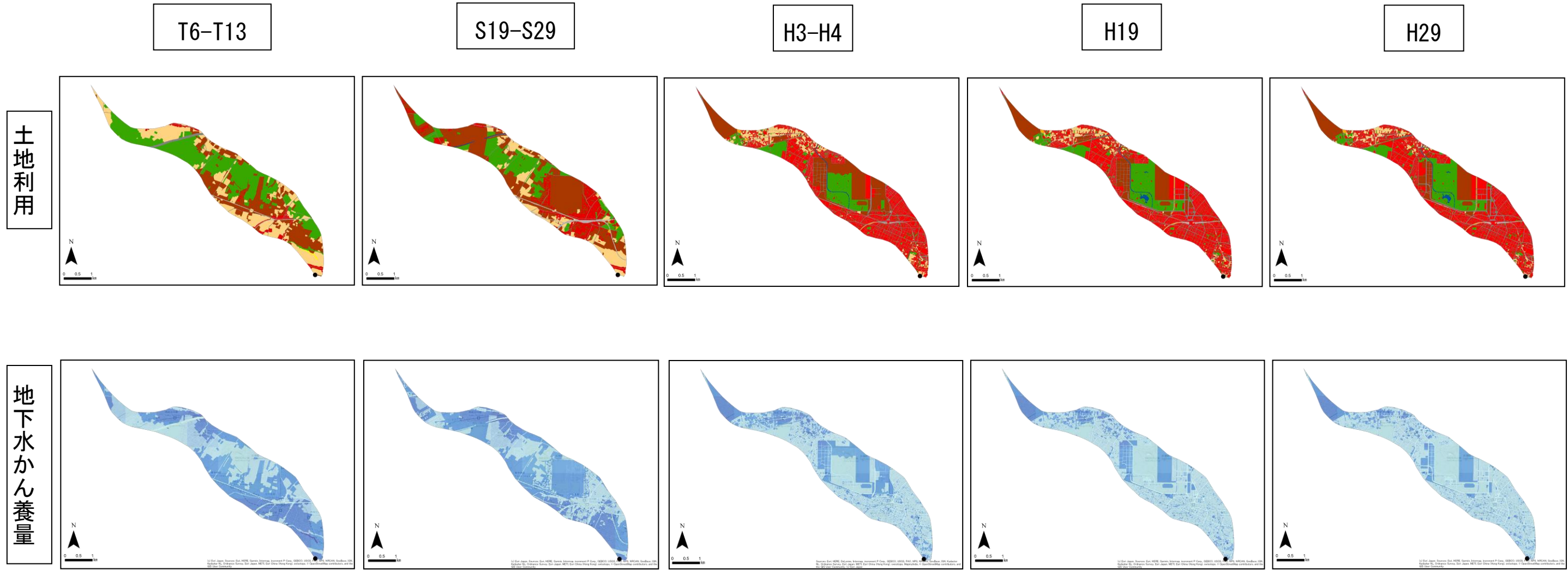
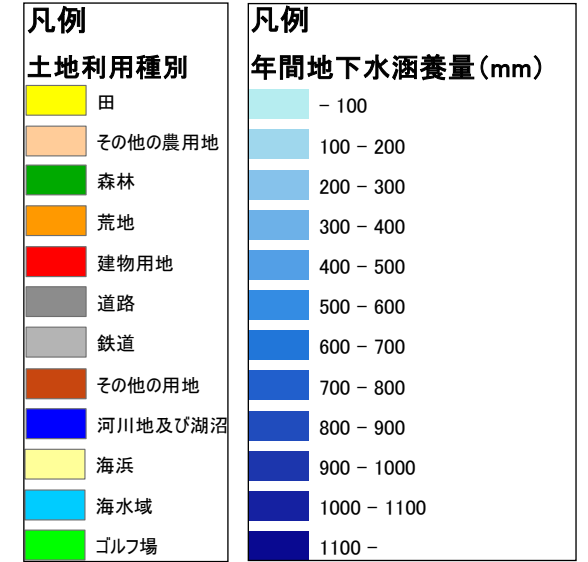
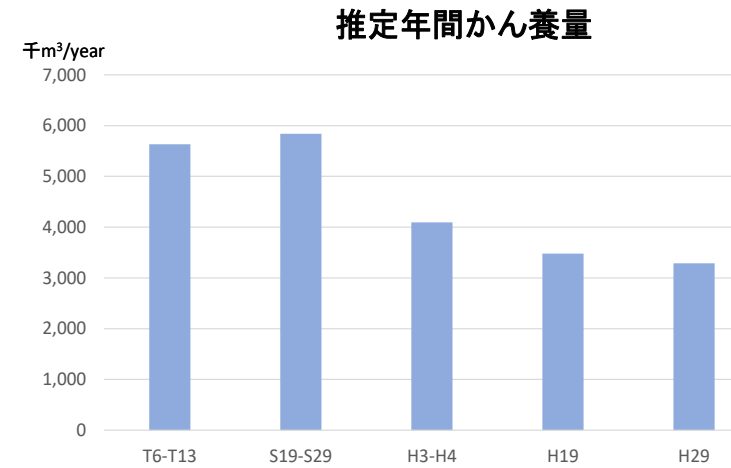
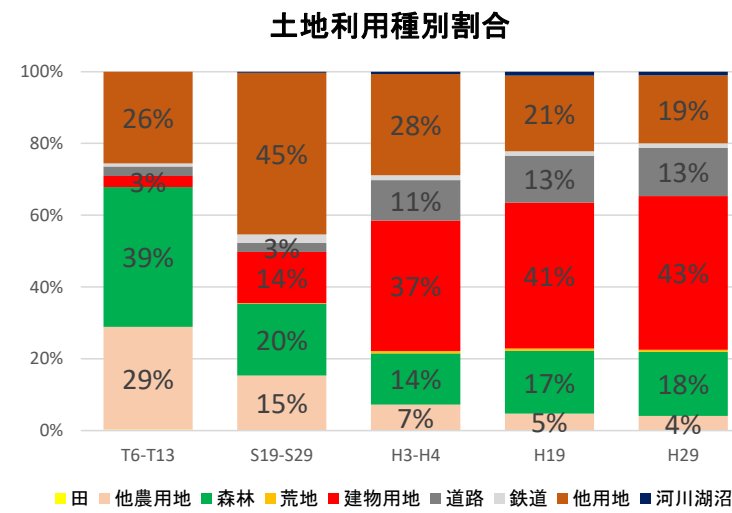
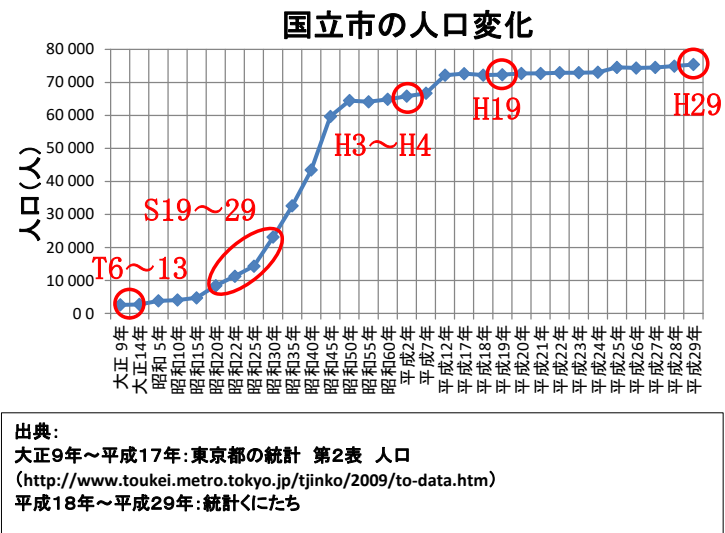
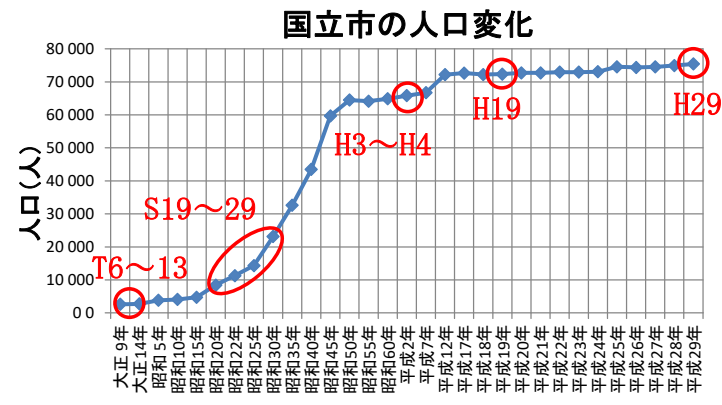


図 4-35 土地利用変化と地下水涵養量変化 (ママ下湧水)



出典：
大正9年～平成17年：東京都の統計 第2表 人口
(<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tjinko/2009/to-data.htm>)
平成18年～平成29年：統計くにたち

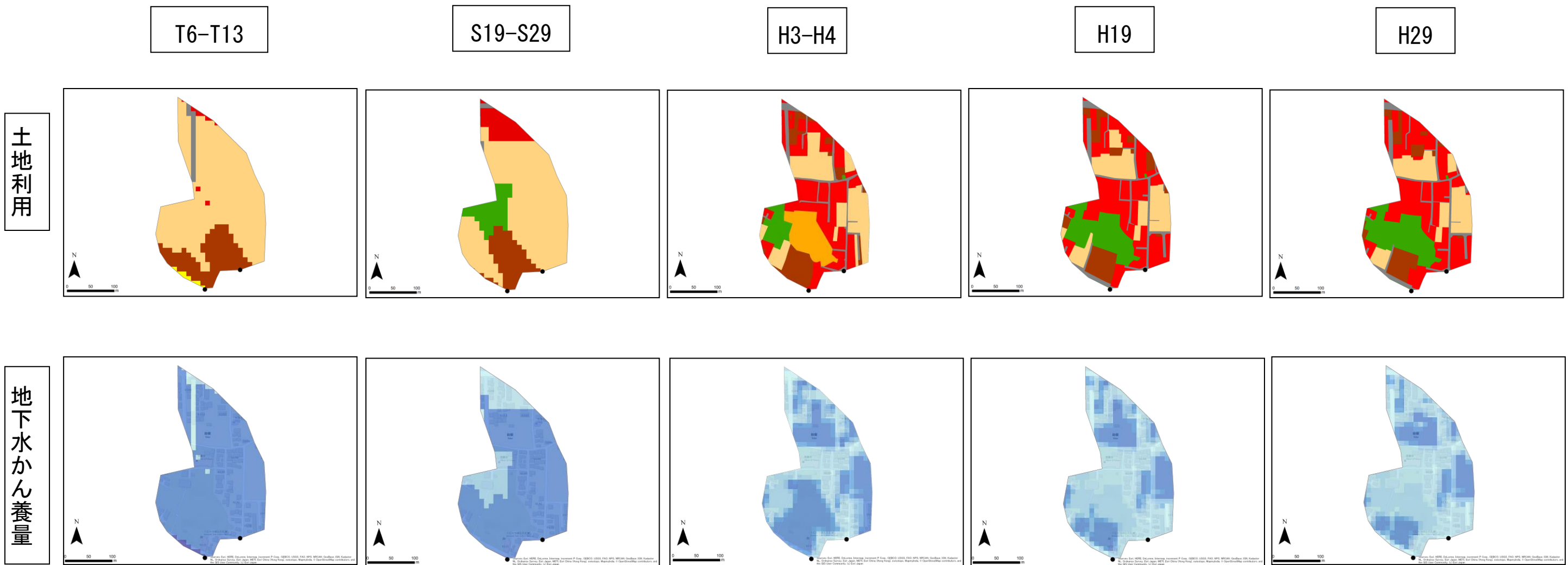
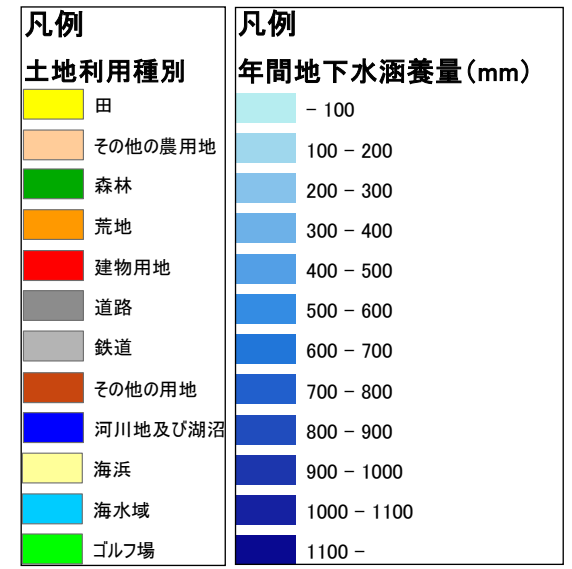
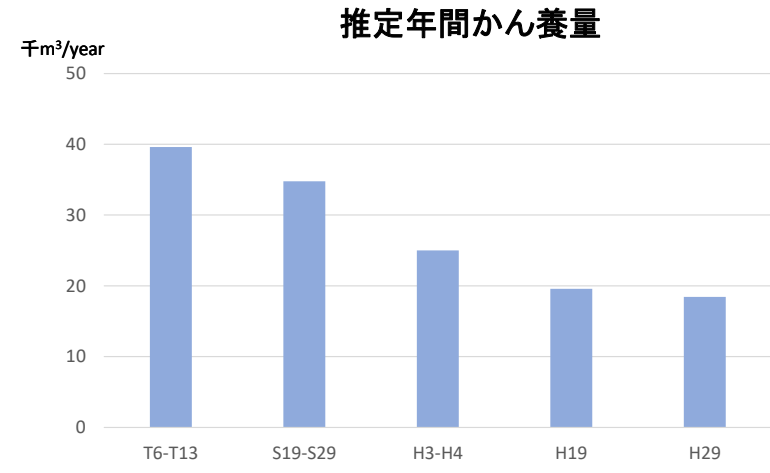
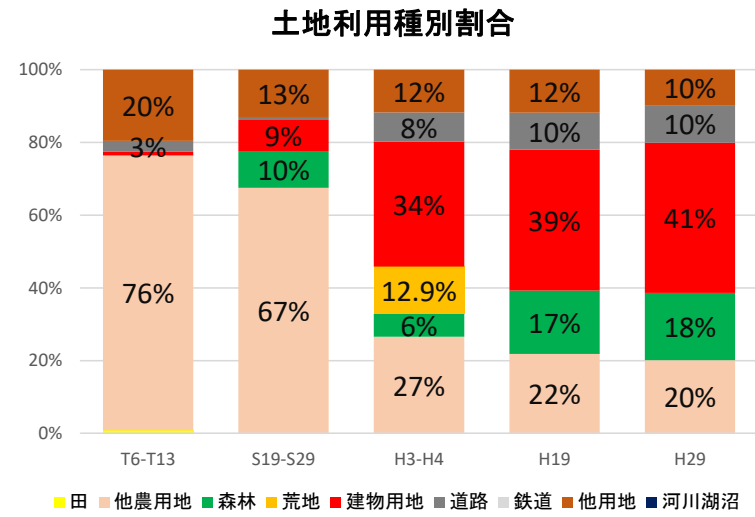
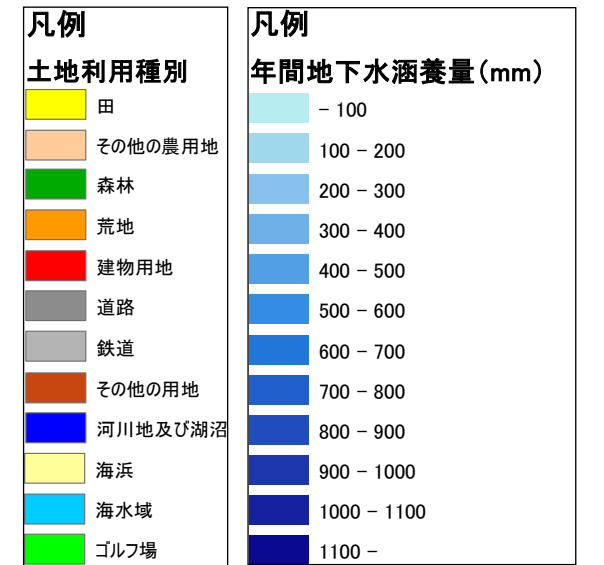
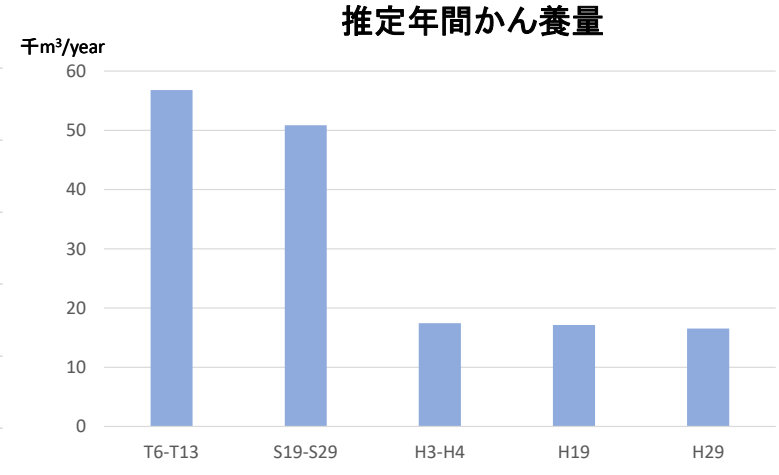
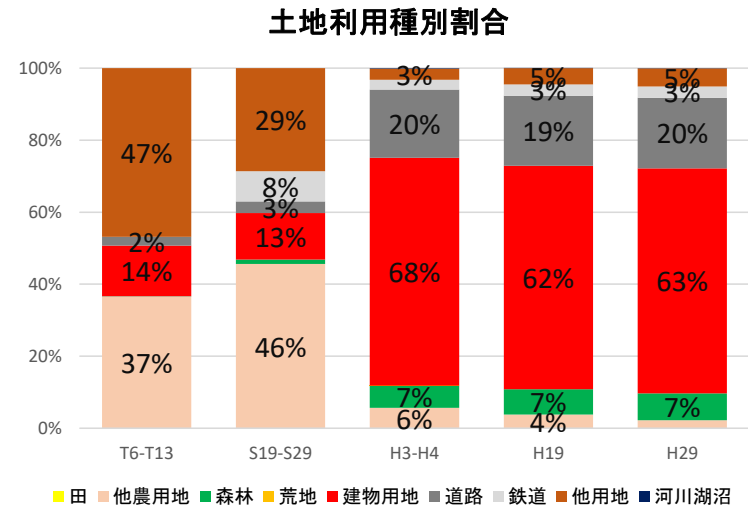
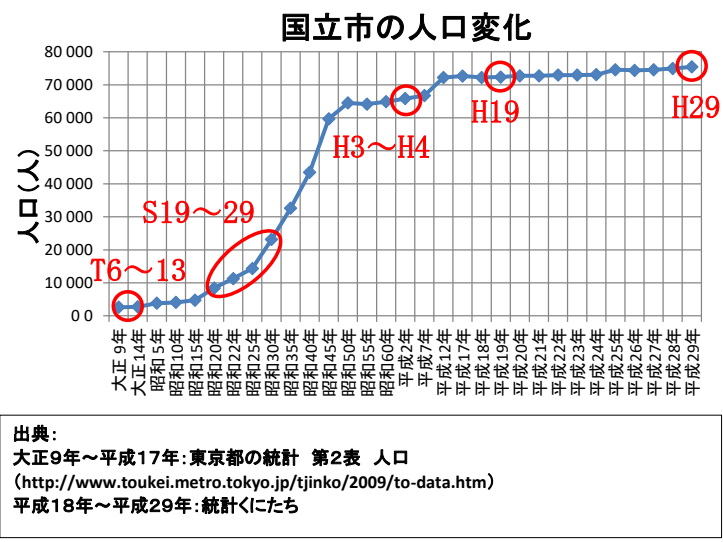


図 4-36 土地利用変化と地下水涵養量変化 (郷土文化館下の湧水)



T6-T13

S19-S29

H3-H4

H19

H29

土地利用



地下水かん養量

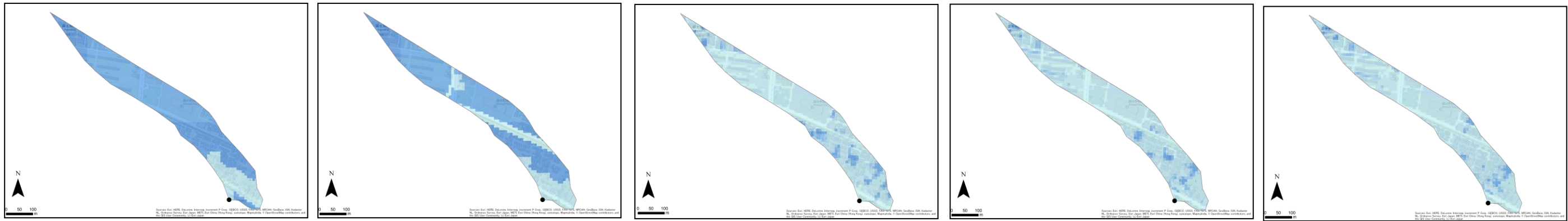


図 4-37 土地利用変化と地下水涵養量変化（谷保天満宮常磐の清水）

凡例

土地利用種別

 田	 建物用地
 その他の農用地	 道路
 森林	 鉄道
 荒地	 その他の用地

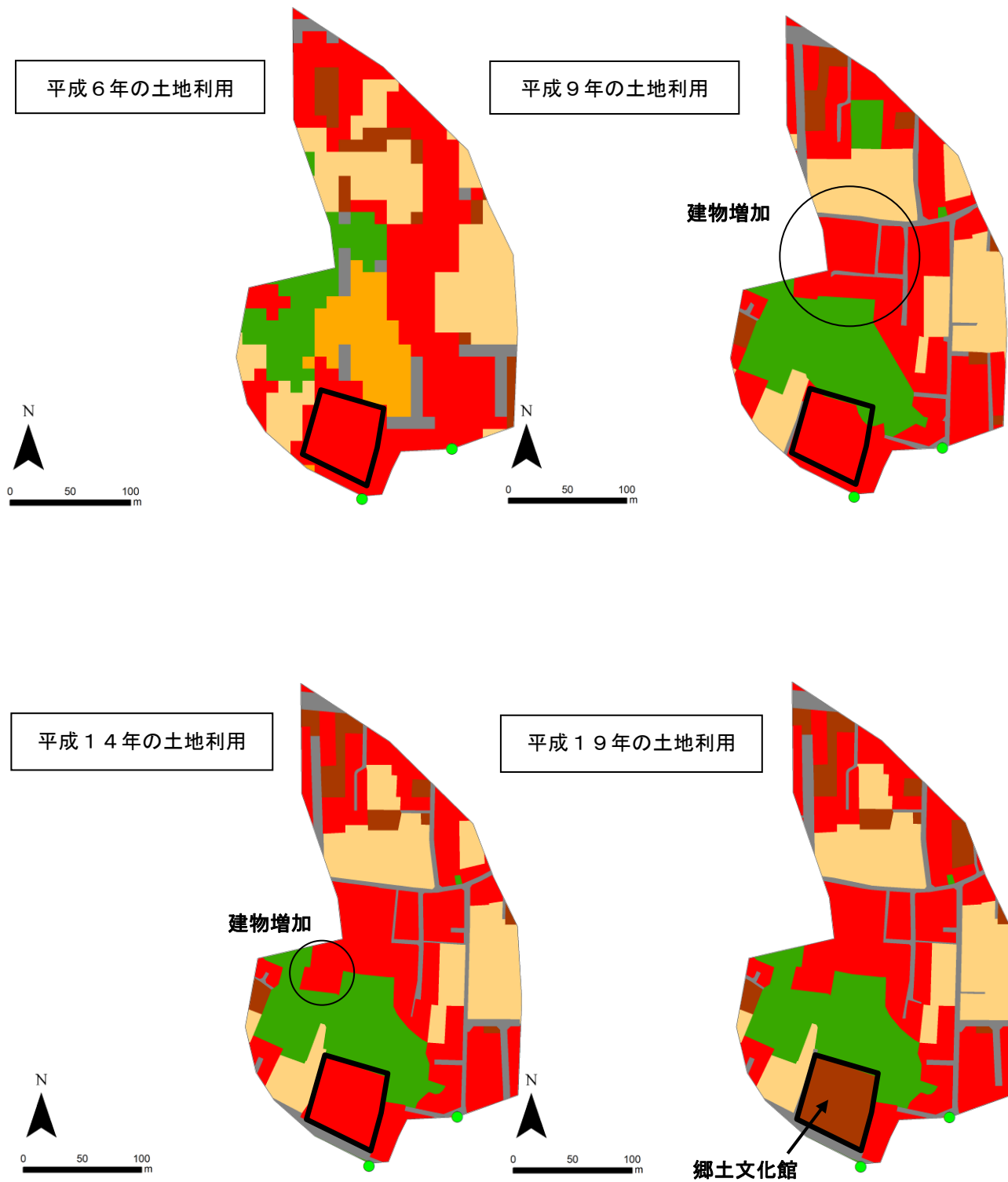


図 4-38 郷土文化館下の湧水の集水域における土地利用変化

【参考】「森林」と「裸地」の蒸発量（蒸発散量）について

四手井（1993）³⁵によると、以下のように記されている。

「ひところは森林のない裸地からの蒸発（エバポレーション）と森林からの蒸散（トランスピレーション）と林地からの蒸発を加えた蒸発散（エバポトランスピレーション）とはほぼ等しいと考えられていたが、測定が進んだ結果、蒸発散量のほうがかなり多量であることがわかってきた。

裸地と林地を比較すると、その差は地域によって異なるが、年五〇〇ミリから八〇〇ミリにも達する。裸地、草原、森林の順に水の消費量が多くなるのである。

上記は、「裸地（本検討では荒地やその他の用地などに当たる）」と比較して「森林」の方が、水の消費量（蒸発散量）が大きくなることを示している。これを言い換えると、同量の降水量が「裸地」および「森林」に降った場合、水資源量（表面流出量＋地下水かん養量＝降水量－蒸発散量）は「裸地」よりも「森林」の方が小さくなることを示す。

ここで、水資源量のうち、地下水かん養量は、インプット条件としての水資源量と地質や傾斜等の条件により定まるが、これらの条件によっては、「裸地」と比較して「森林」の方が、地下水かん養量が少なくなる可能性がある。

本業務では、森林蒸発散量の推計について「4.3.44.3.4(4) 蒸発散量の算定」にて示した通り、既往手法（ハーモン法、ソーンズウェイト法など）に比較して、精度向上を実現している。また、森林地域では、傾斜の条件は含めていないものの、地質条件により地下水浸透率を定めており、限られたデータ・条件等から、地下水かん養量の推定を行っている。「荒地」「その他の用地」については、既往手法に基づいて地下水かん養量を算定している。妥当性については「4.3.2(2) 水収支解析モデルの推計精度」に示しており、概ね妥当な範囲であると考ええる。

以上から、本業務の解析範囲では、「荒地」や「その他の用地」の方が、「森林」よりも地下水かん養量が大きい結果となっているが、妥当な範囲であると考ええる。より精緻な値の算定には現地調査等を踏まえた検討が必要となる。

なお、森林には、水源林としての機能のほか、水質浄化、洪水調節、生物多様性保全、CO₂吸収、レクリエーションなど、様々な機能がある。上記は水量のみに関しての議論であり、水量確保のために「森林」に代わり「裸地」を推奨するものではない。集水域の保全について検討をする際には、森林を含め、様々な機能を適切に評価した上で、施策へ展開していく必要がある。

³⁵ 四手井綱英（1993）：森に学ぶ—エコロジーから自然保護へ、海鳴社、第一版、p46.

(2) 過去と現在の水収支

本業務で実施した水収支解析の結果から、国立市および主要湧水地点（ママ下湧水、郷土文化館下の湧水、谷保天満宮 常盤の清水）の推定集水域において、過去（大正6-13年）と現在（平成29年）の各地域の水収支を推計した（図 4-39～図 4-42）。すべての地域において、過去に比べ現在の地下水かん養量は減少しており、その割合（＝現在/過去）は、約4割から7割にまで及ぶ。

なお、「4.3.2(2)水収支解析モデルの推計精度」にて先述の通り、本業務では、各解析結果は月別、メッシュごとに算出しており、物理則に基づくメッシュ間の水の移動は考慮していない。また、基本的に利水等人為的条件は含めていないが、「田」の灌漑期に関しては、全体の地下水かん養量へ与える「田」の地下水かん養効果を無視できないため、これを反映している。このため、土地利用に「田」を含む、国立市およびママ下湧水推定集水域の水収支は、ゼロとにならないことに留意されたい。

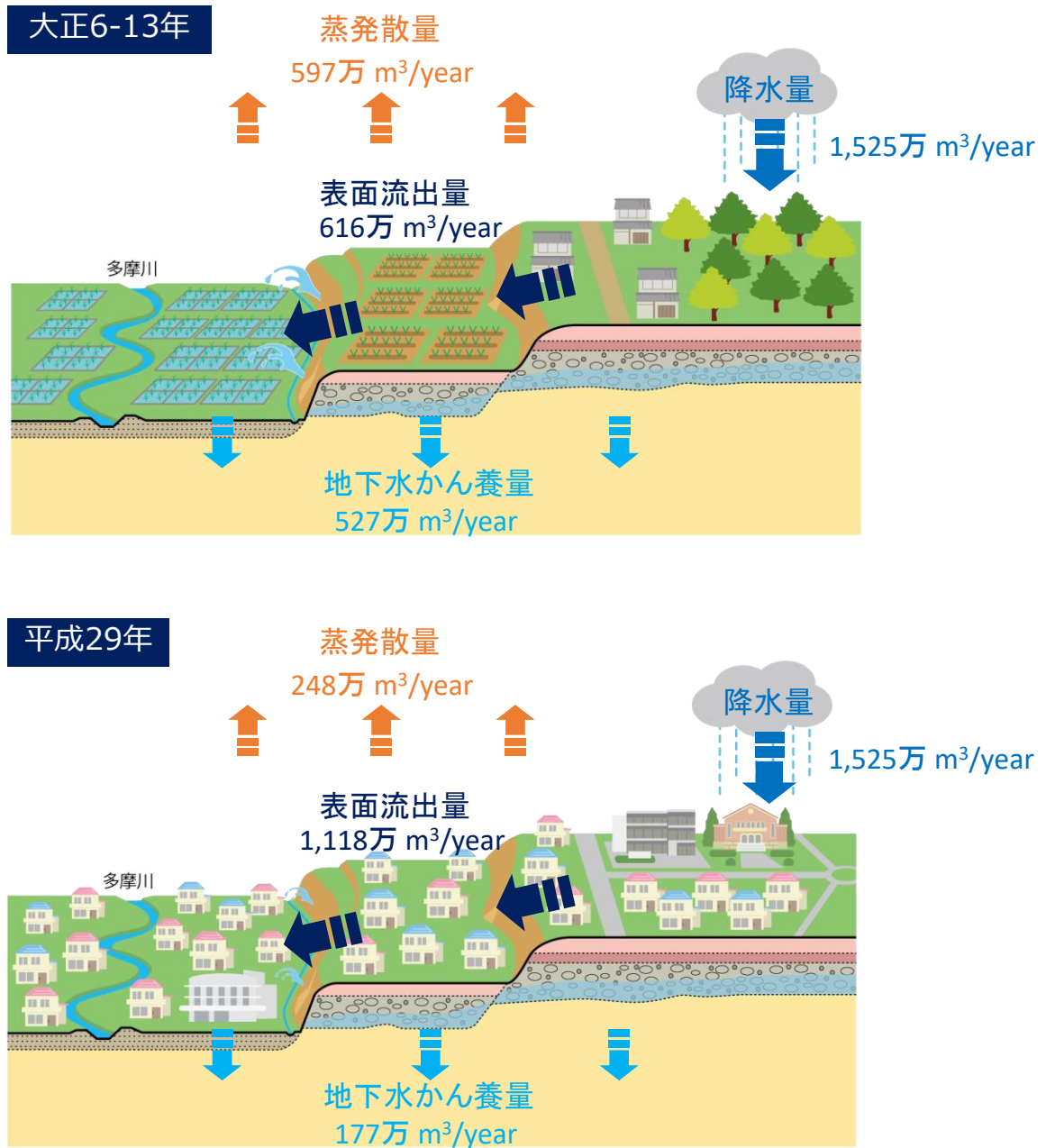


図 4-39 国立市における水収支の変化イメージ（過去（上段）、現在（下段））

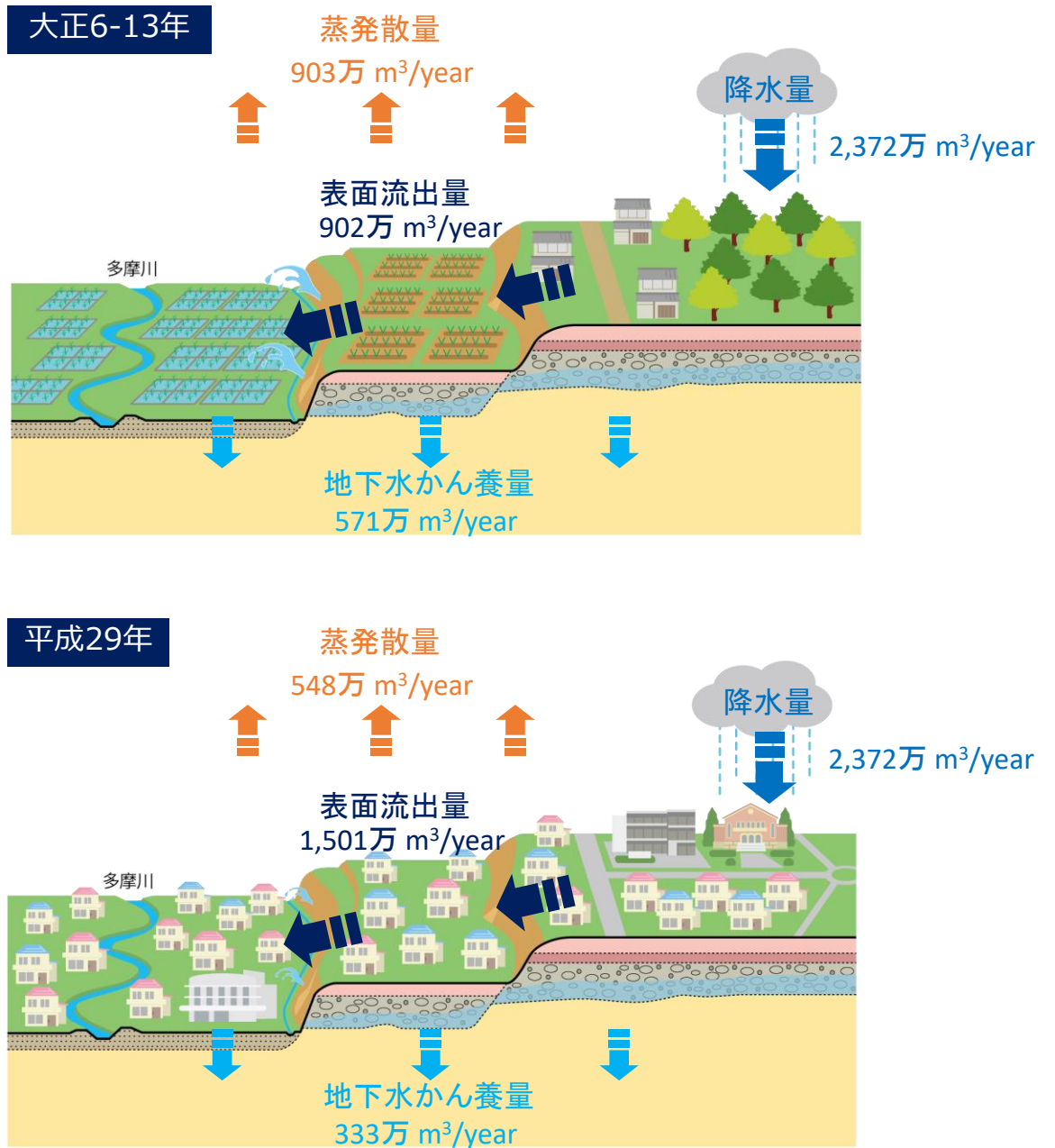


図 4-40 ママ下湧水推定集水域における水収支の変化イメージ
(過去 (上段)、現在 (下段))

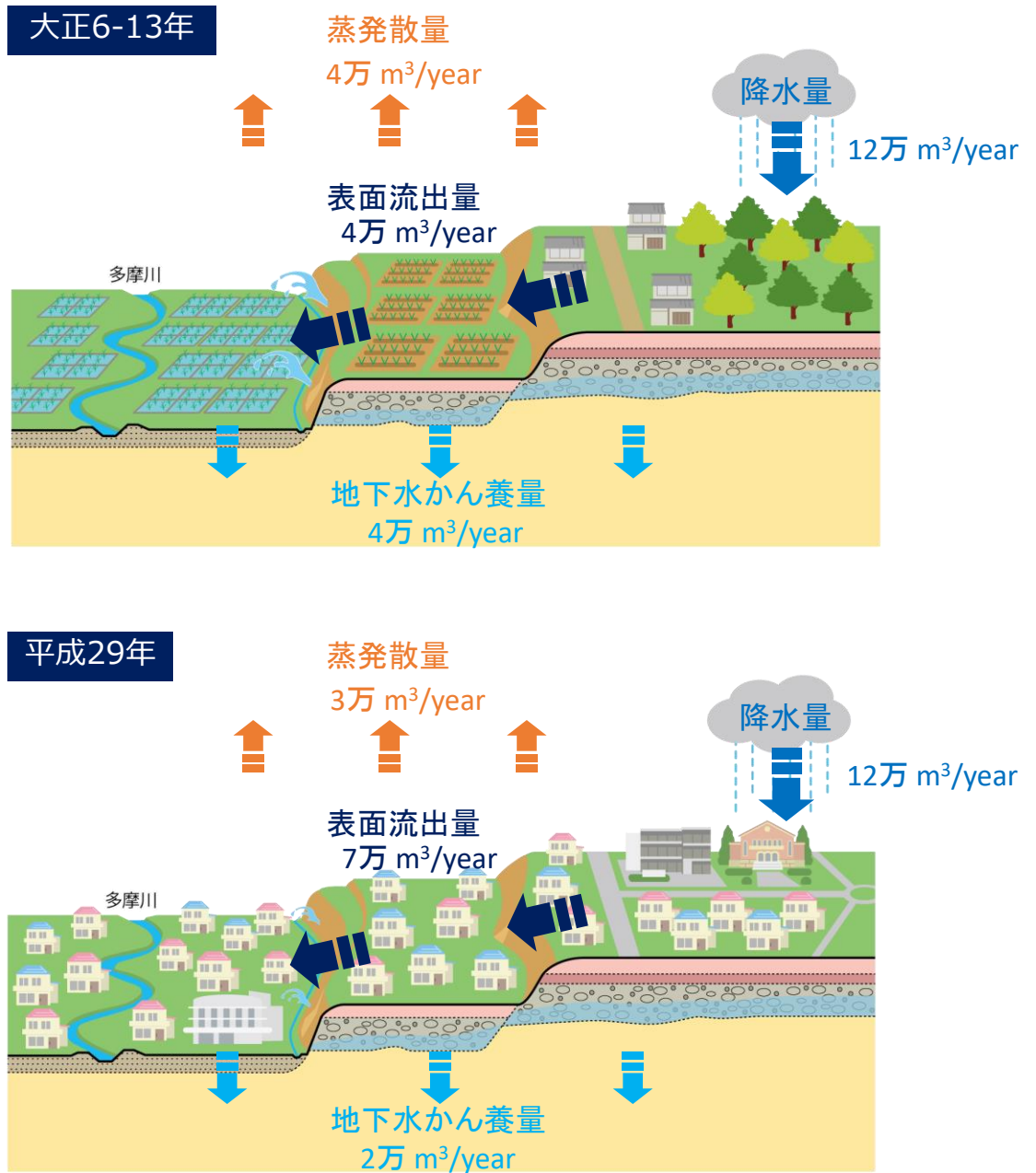


図 4-41 郷土文化館下の湧水 推定集水域における水収支の変化イメージ
(過去 (上段)、現在 (下段))

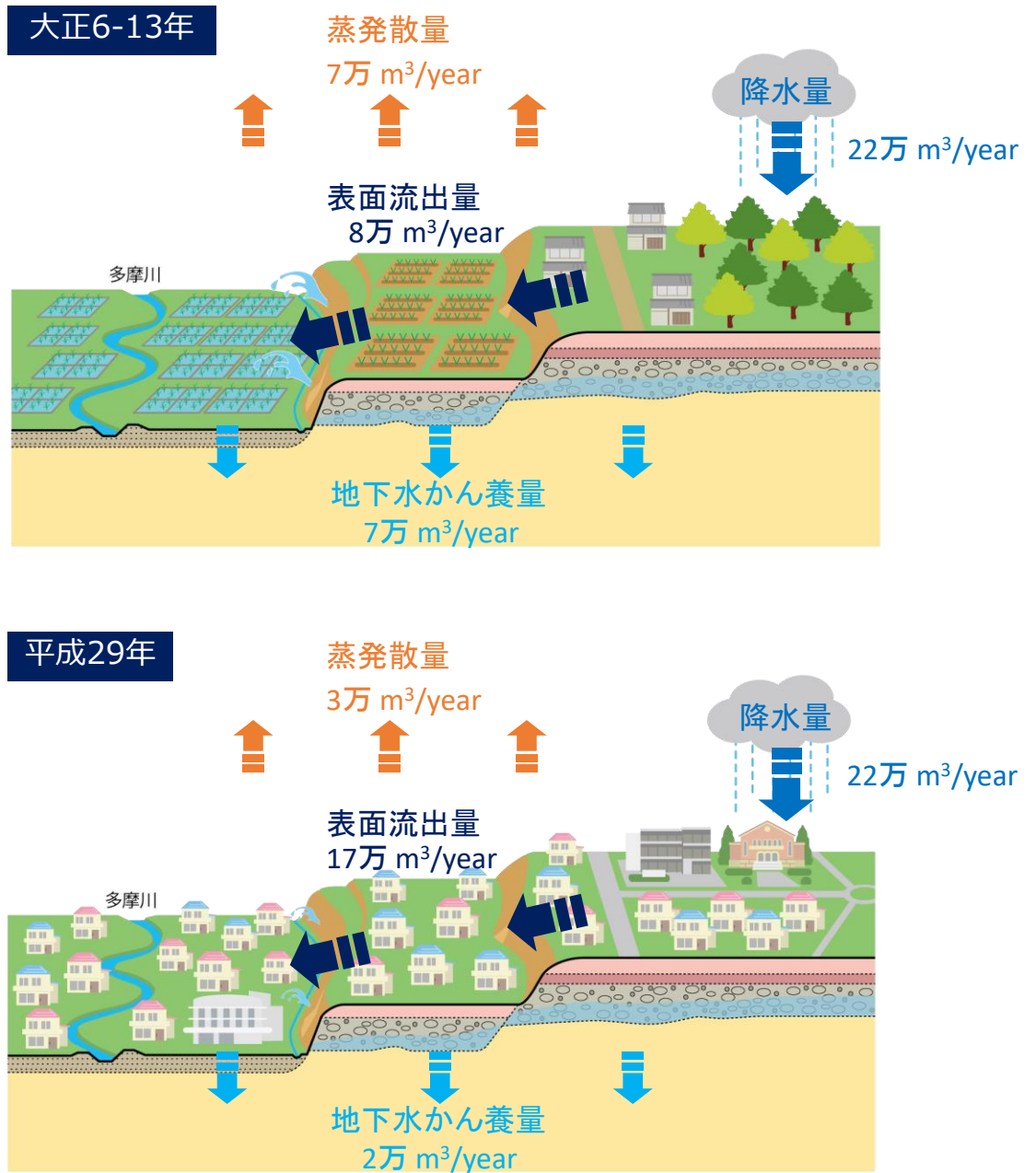


図 4-42 谷保天満宮 常盤の清水推定集水域における水収支の変化イメージ
(過去 (上段)、現在 (下段))