

岐阜県郡上市の長良川支流亀尾島川上流の長期流出特性の解明にむけて

堀田裕貴・田中隆文・小谷亜由美（名大院生命農）
金森道人・津田その子（中部電力電力技術研究所）・中沖元哉（名大院生命農）・上杉光平（名大農）

従来の森林水文学の研究では、長大な森林斜面における流出特性の研究は未着手であったといえよう。そこで著者らは長良川支流亀尾島川の源流域において長大な森林斜面を有する中部電力社有林「内ヶ谷山林」（岐阜県郡上市）で観測を開始した。本報告では、「内ヶ谷山林」を含む 28.2 km² の流域において岐阜県河川課によって取得された 2013～2016 年の実測流出量を用い、その流出特性を東京大学白坂流域、森林総合研究所竜ノ口山流域の流出特性と比較した結果を報告する。

キーワード：斜面長、森林水源涵養機能、タンクモデル、長期流出特性、ハイドログラフ

I はじめに

20 世紀初頭以来、森林の水源涵養機能の解明を目的として各地で小流域試験が実施されてきた。国内においても、東京大学白坂流域や森林総合研究所竜ノ口山流域など著名な森林水文試験地の観測が森林水文学の発展に寄与してきた。しかしこれらの流域は里からのアクセスは良いものの斜面長が短い特徴を指摘できる。長大な森林斜面における流出特性の研究は未着手であったといえよう。そこで本稿では長良川の支流の亀尾島川の源流域において長大な森林斜面を有する中部電力社有林「内ヶ谷山林」（岐阜県郡上市）を含む 28.2 km² の流域（図-1、以下内ヶ谷流域）での流出特性について報告する。

同流域は 2018 年の西日本豪雨で土石流の発生した奥田洞流域（10）に近く、この地区の水文特性の解明は砂防学的にも重要である。本研究では、土壌雨量指数の計算に用いられる Ishihara & Kobatake（1）のタンクモデルの構造を採用し、実測流量を用いてそのパラメータを再同定し流出特性を表現することにした。本稿では、まず、内ヶ谷流域の地形を東京大学白坂流域、森林総合研究所竜ノ口山流域と比較し、斜面長の違いを確認した。次に、白坂・竜ノ口山流域について再同定したパラメータと内ヶ谷流域の雨量データから計算される流出量を、内ヶ谷流域において岐阜県河川課によって取得された 2013～2016 年の実測流出量と比較した。

II 調査対象流域および比較流域の概要

1. 調査対象流域

調査対象流域は岐阜県郡上市の長良川支流亀尾島川上流に位置する内ヶ谷流域である。流域面積は 28.2 km² であり、これは、森林総合研究所の森林水文試験

地の中で最大である宝川森林理水試験地（19 km²）よりも広く、森林総合研究所のその他の小流域（数～数十 ha スケール）よりも 2～3 オーダーほど大きい（5）。地質は、中生代に形成された堆積岩であり、地形的には等高線が入り組んでおらず、斜面長が長いという特徴がある。流域内の樹種はスギ・ヒノキなどの針葉樹林が中心であるが、一部にブナ・ミズナラなどの広葉樹林もみられ、郷土史書（15）や過去の地形図を確認する限り、近代以降もはげ山の履歴がみられない。内ヶ谷流域近傍の AMeDAS 関市板取観測所における年降水量の平均値は 3190mm であり、冬季には積雪がみられる。

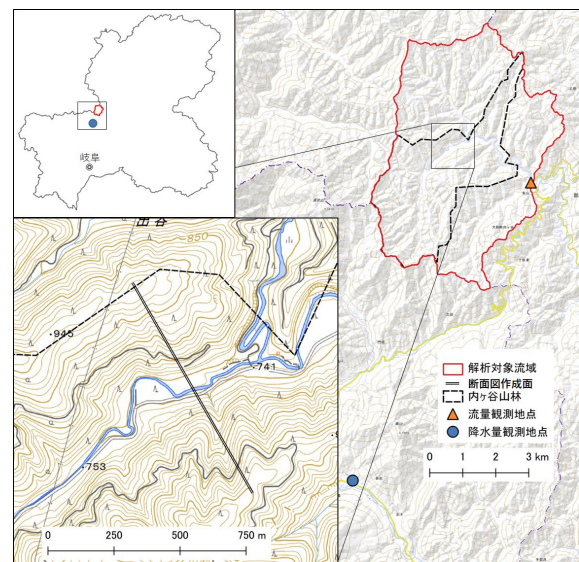


図-1. 内ヶ谷山林の位置および地形の概要

流量観測地点は、岐阜県河川課の出会橋観測点を指す。

HOTTA Yuki*, TANAKA Takafumi, KOTANI Ayumi, KANAMORI Michito, TSUDA Sonoko, NAKAOKI Genya, UESUGI Kohei

The launch of analyses on long-term runoff characteristics in the upper Kibijima River basin, in Gujo City, Gifu Prefecture
hotta.yuki@j.mbox.nagoya-u.ac.jp



図-2. 白坂流域の位置および地形の概要

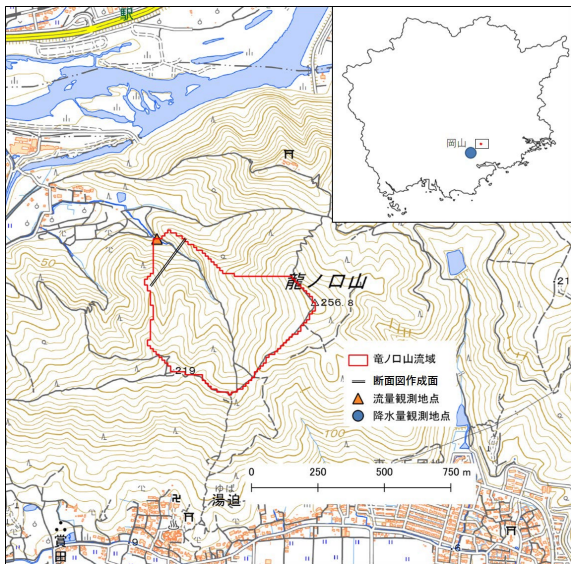


図-3. 竜ノ口山流域の位置および地形の概要

2. 比較流域

東京大学生態水文学研究所白坂流域(図-2, 以下白坂流域)の流域面積は0.88 km²であり, 2011~2015年の年降水量平均値は1885 mmであった。地質は, 風化の進んだ花崗岩が中心である。また植生はマツを中心とした天然林である。(11, 12, 13, 14)。森林総研竜ノ口山森林理水試験地南谷(図-3, 以下竜ノ口山流域)の面積は0.23 km²であり, 近傍の気象観測所である岡山地方気象台での年降水量平均値は1143 mmである。地質は, 古生代に形成された堆積岩が中心で, 植生は広葉樹の二次林である(7)。

3. 調査対象流域と比較流域の地形比較

図-1~3においてそれぞれ内ヶ谷流域, 白坂流域, 竜ノ口山流域における主たる溪流に対し直交するように二重線を描画した。図-4はこれらの二重線部における鉛直断面図である。溪流の兩岸の斜面に注目する

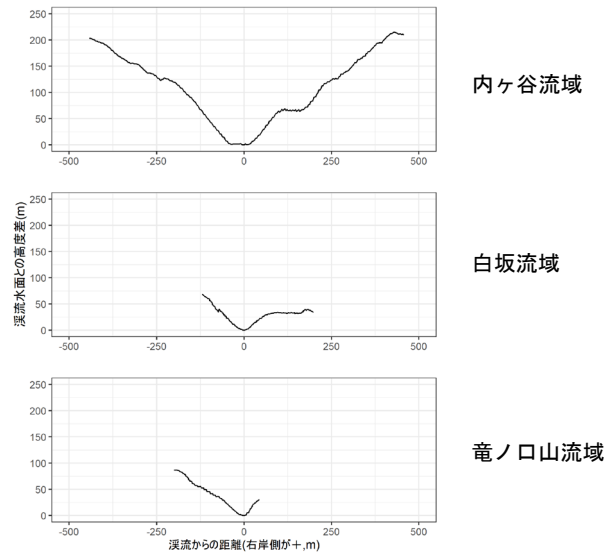


図-4. 調査対象流域と比較流域の鉛直断面図

と内ヶ谷流域では斜面頂上と渓流水面の高度差は比較流域と比べ2倍以上の200 m程度であり, 斜面長が長くなっている。また内ヶ谷流域では他の2流域と比較し, 川原が広く谷底平野が発達しているという特徴が読み取れる。

III 方法

1. 使用データ

内ヶ谷流域における2013~2016年のデータを使用した。降水量はAMeDAS 関市板取観測所の時間値, 蒸発散量はMOD16A2.006の流域平均値, 実測流出量は内ヶ谷流域において岐阜県河川課によって取得されたものを使用した。なお, MOD16A2.006はNASAの人工衛星であるTerra/Aquaに搭載されたMODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)のデータをもとにPenman-Monteith Methodを用いて500 mメッシュで8日間毎の蒸発散量を算出したデータセットである(6)。

比較流域である白坂流域, 竜ノ口山流域についてはそれぞれ2011~2015年, 2001年~2005年のデータを使用した。白坂流域の流出量は東京大学生態水文学研究所の観測によるもの(11, 12, 13, 14), 竜ノ口山流域の流出量は森林総合研究所関西支所の観測によるもの(8, 9)を用いた。また降水量は白坂流域では東京大学生態水文学研究所において観測された日積算値(11, 12, 13, 14), 竜ノ口山流域では岡山地方気象台の日積算値を用いた。蒸発散量は両流域とも相当する期間のMOD16A2.006の流域平均値を利用した。

2. 流出解析モデル

本研究で使用したモデルはIshihara & Kobatakeの直列3段タンクモデル(1)である。これは気象庁が発表

する土壌雨量指数の算定に用いられるものと同じ構造である。

さらに今回の解析では蒸発散による損失機構を導入することで(図-5のET), 本来は短期流出解析を対象とするIshihara & Kobatakeモデルでの長期流出解析に対応した。

3. タンクモデルのパラメータ調整

内ヶ谷流域および比較流域である白坂流域, 竜ノ口山流域において実測流出量を再現できるようにIII.1節のデータを用いて図-5のタンクモデルのパラメータを調整した。

4. 内ヶ谷流域の気象条件下のシミュレーション

まず, 前節で準備したタンクモデルのうち白坂流域用に調整したもの, 竜ノ口山流域用に調整したものを, それに加え気象庁が発表する土壌雨量指数の算定に用いるパラメータに設定したタンクモデル(表-1)合計3つの図-5の構造を持つタンクモデルを用意した。次に3つのタンクモデルに内ヶ谷流域の気象条件を入力することで, それぞれの流域を内ヶ谷流域と同じ気象条件下に置いた際に予想される流出量をシミュレーションした。なお, このシミュレーションは, 降水量は時間データを6等分, 蒸発散量は8日間データを6×24時間×8日=1152等分することで10分毎のデータに変換し, 2021年時点での気象庁による土壌雨量指数の計算法と同じ10分間隔(2)で行った。そしてシミュレーションにより得られたハイドログラフを岐阜県河川課によって取得された2013~2016年の内ヶ谷流域の実測流出量のハイドログラフと比較することで内ヶ谷流域の長期流出特性について検討した。

IV 結果および考察

1. タンクモデルのパラメータ調整

内ヶ谷流域および二つの比較流域の流出を再現するために調整したタンクモデルのパラメータを表-1に示した。3流域とも流出率および浸透率は気象庁のパラメータと比較し小さく, 特に第三タンクにおいてはその値が数オーダーほど小さくなった。流出率の中でも表面流の発生に大きく関与する α_2 のパラメータは内ヶ谷流域のタンクモデルが最も小さかった。一方で浸透率のパラメータについても二つの比較流域と比べて小さかった。これらの流域間の違いが具体的なハイドログラフに与える影響については, 次節で検討する。本節では調整したタンクモデルの流量再現性を評価する。

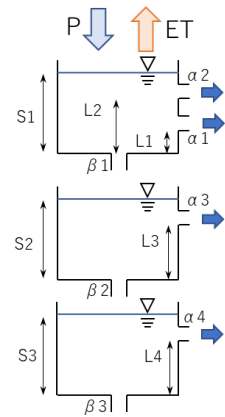


図-5. 本研究で用いたタンクモデル

表-1. 本研究で用いたタンクモデルのパラメータ

	気象庁	内ヶ谷	白坂	竜ノ口山
α_1 (1/hr)	0.1	0.00168	0.00250	0.00051
α_2 (1/hr)	0.15	0.00089	0.01179	0.02193
α_3 (1/hr)	0.05	0.00033	0.00114	0.00386
α_4 (1/hr)	0.01	0.00004	0.00020	0.00002
β_1 (1/hr)	0.12	0.00116	0.00574	0.00466
β_2 (1/hr)	0.05	0.000005	0.001127	0.010446
β_3 (1/hr)	0.01	0.00003	0.00006	0.00002
L1 (mm)	15	48.06	12.85	3.85
L2 (mm)	60	108.56	120.25	39.00
L3 (mm)	15	7.227	49.66	52.78
L4 (mm)	15	29.52	3.08	7.76
S1 (mm)	0	60.16	13.56	5.36
S2 (mm)	0	73.90	62.34	20.48
S3 (mm)	0	69.56	122.90	124.06

内ヶ谷流域用に調整したタンクモデルを用いて10分間隔で計算を行った際の結果を図-6に示す。2014年7月から2015年2月は岐阜県河川課によって取得された低水時の流出量変動が他の年に比べて著しく小さくなったため, 本論文で用いたタンクモデルの構造は適用できないと考えられる。したがって本研究ではこの期間を除いた期間について考察を行う。それ以外の期間でも一部では流量を過少評価する傾向が見られるが, ピーク流量から低水部の変動幅や減衰部についてはよく再現することができている。白坂流域用に調整したタンクモデルを用いて10分間隔で計算を行った際の結果を図-7に示す。計算ハイドログラフはピーク流出量をやや過少に評価する傾向が認められるものの, 低水部および流出量の減衰傾向はよく再現することができていることがわかる。最後に竜ノ口山流域用に調整したタンクモデルを用いて10分間隔で計算を行った際のハイドログラフと竜ノ口山流域での実測ハイドログラフを図-8に示す。計算ハイドログラフの再現性に注目すると白坂流域と同様に中程度の規模の出水のピーク流出量をやや過少に評価する傾向が認められるものの, 白坂流域と比較し同一規模の降水イベントに対するピーク流出量が多く, その際の流出量の減衰が速いという特徴を再現することができていることがわかる。

2. 内ヶ谷流域の気象条件下のシミュレーション

図-5のタンクモデルを気象庁の土壌雨量指数計算に用いるパラメータに設定し10分間隔で計算を行った際の計算ハイドログラフと内ヶ谷流域の実測ハイドログラフを図-9に示す。計算ハイドログラフは, ピーク時の流出量を過大に評価する一方, 出水後すぐに流出量が減衰するという挙動を見せ, 内ヶ谷流域の長期的な流出的な流出の再現ができているとは言い難い。土壌雨量指数は比較的表層の地中を対象にモデル化したものであり, 深層崩壊や大規模な地滑りなど地中深い部分を要因とする災害と関連付けることはできない(2)とされている。その計算に用いる気象庁パラメータ

タのタンクモデルでは平均滞留時間の長い地下水の成分をうまく表現できなかったと考えられる。

3. 比較流域との長期流出傾向の比較

内ヶ谷流域の気象条件を白坂流域用のタンクモデルに入力し 10 分間隔で計算を行った場合の計算ハイドログラフと内ヶ谷流域の実測ハイドログラフを図-10 に示した。また、内ヶ谷流域の気象条件を竜ノ口山流域用のタンクモデルに入力し、10 分間隔で計算を行った場合のハイドログラフと内ヶ谷流域の実測ハイドログラフを図-11 に示した。

図-10 と図-11 を比較すると、内ヶ谷流域での実測ハイドログラフは地質が類似する竜ノ口山流域（堆積岩）のタンクモデルよりも、白坂流域（花崗岩）のタンクモデルを用いた計算ハイドログラフに類似し、流出量の変動が小さいことが読み取れる。洪水時以外の流出すなわち地下水流出に対しては、流域の地質条件が最も大きな規定要因になると考えられており（4）堆積岩流域では流出量の変動が花崗岩流域より大きく、白坂流域（花崗岩）と竜ノ口山流域（堆積岩）の流出傾向の違いは地質の違いに起因するという報告（3）もある。これらを考慮すると、堆積岩流域である内ヶ谷流域の長期流出特性は竜ノ口山流域に類似し流出量の変動が比較的大きいと推定されるが、今回の解析結果には合致しない。そのため内ヶ谷流域における流出特性の解析には地質以外の要因の考慮が必要だといえる。この要因について、その一つにⅠ、Ⅱ章で述べた内ヶ谷流域の特徴である長大な斜面の影響があげられる。例えば斜面長が長いほど溪流への到達時間が遅くなり、流況の平準化に寄与する可能性も考えられる。しかし、現時点ではこれが内ヶ谷流域の流出特性を決定づけている要因と断定することはできない。

V おわりに

本研究では、長良川支流亀尾島川上流に位置する内ヶ谷流域に対し、土壌雨量指数計算に用いる気象庁のパラメータや著名な森林水文観測流域のパラメータに調整した Ishihara & Kobatake の直列3段タンクモデルを適用した。そして、その計算結果を実測ハイドログラフと比較することで、当該流域の他流域と比較した際の相対的な長期流出特性を評価した。その結果内ヶ谷流域の流出量の変動は同じ地質条件である堆積岩流域の森林総研竜ノ口山流域と比較しても小さく、全体的な流出特性は寧ろ花崗岩流域の東大白坂流域に似ることが分かった。

しかし、今回の報告では内ヶ谷流域の気温データが蓄積されていなかったため、積雪・融雪の影響については評価することができていない。2021年8月より当研究グループでは「内ヶ谷山林」内において気象・水文観測を開始している。続報では積雪・融雪の影響についても評価を行いたい。また、内ヶ谷流域の大きな

特徴として挙げられる長大な斜面の影響今後は分布型流出モデルの活用により斜面長などの地形要因の影響の評価も行っていきたい。

謝辞

本研究を実施するにあたり、岐阜県河川課より亀尾島川流域の流出量観測データをご提供いただいた。また、株式会社テクノ中部の皆様には内ヶ谷流域での現地調査にご協力いただいた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

引用文献

- (1) Ishihara, Y. and Kobatake, S. (1979) Runoff Model for Flood Forecasting. Bull.D.P.R.I., Kyoto Univ.. 29 : 27-43
- (2) 気象庁ホームページ：土壌雨量指数 <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html> (2021/11/19 閲覧)
- (3) 藏本康平・篠原慶規・小松 光・大槻 恭一(2010) 森林回復が流出に及ぼす影響—地質の異なる2流域における検討—。水文学会誌. 23(1) : 32-42
- (4) 虫明功臣・高橋裕・安藤義久(1981) 日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果。土木学会論報. 309 : 51-62
- (5) 野口正二・藤枝基久(2007) 森林流域試験と今後のあり方。森林総合研究所研究報告. : 111-125
- (6) Running SW, Mu Q, Zhao M, Moreno A. (2017) User's Guide MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm (For Collection 6).
- (7) 森林総合研究所森林理水試験地データベース：竜ノ口山森林理水試験地。 <https://www2.ffpri.go.jp/labs/fwdb/sites/tatsunokuchiyama.htm> (2021/11/19 閲覧)
- (8) 玉井幸治・後藤義明・小南裕志・深山貴文・細田育広(2008) 竜ノ口山森林理水試験地観測報告(2001年1月～2005年12月)。森林総研研究報告. 7(3) : 125-138
- (9) 玉井幸治・後藤義明・小南裕志・深山貴文・細田育広(2010) 誤植：竜ノ口山森林理水試験地観測報告(2001年1月～2005年12月)。森林総研研究報告. 71(5) : 38-42
- (10) 田中隆文・土屋智・湯川典子・古田清・中澤耕司(2019) 2018年(平成30)7月の長雨により岐阜県郡上市で発生した山腹崩壊と崩土の流出。砂防学会誌. 9(3) : 149-151
- (11) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会水文水質部門(2015) 東京大学演習林水文観測・水質分析報告(自2008年1月至2012年12月)。演習林(東大) 57 : 19-59
- (12) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会水文水質部門(2016) 東京大学演習林水文観測・水質分析報告(自2013年1月至2013年12月)。演習林(東大) 58 : 213-238
- (13) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会水文水質部門(2017) 東京大学演習林水文観測・水質分析報告(自2014年1月至2014年12月)。演習林(東大) 59 : 245-254
- (14) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会水文水質部門(2018) 東京大学演習林水文観測・水質分析報告(自2015年1月至2015年12月)。演習林(東大) 60 : 75-99

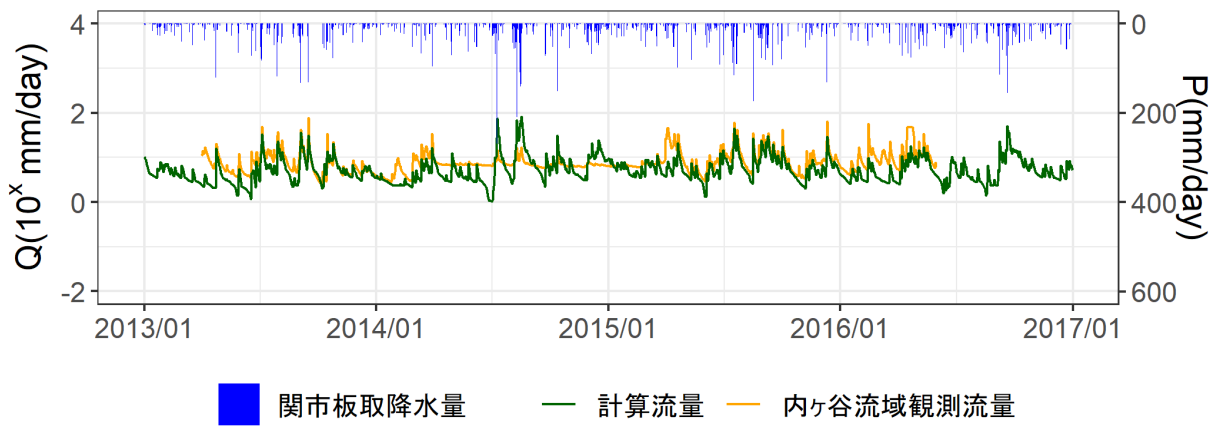


図-6. 内ヶ谷流域用に調整したタンクモデルのパラメータを用いた計算結果と内ヶ谷流域の観測流量

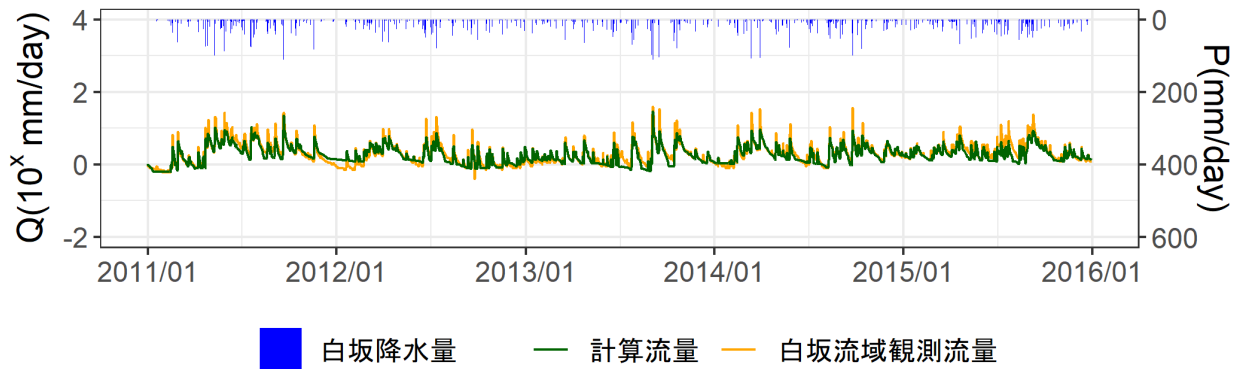


図-7. 白坂流域用に調整したタンクモデルのパラメータを用いた計算結果と白坂流域の観測流量

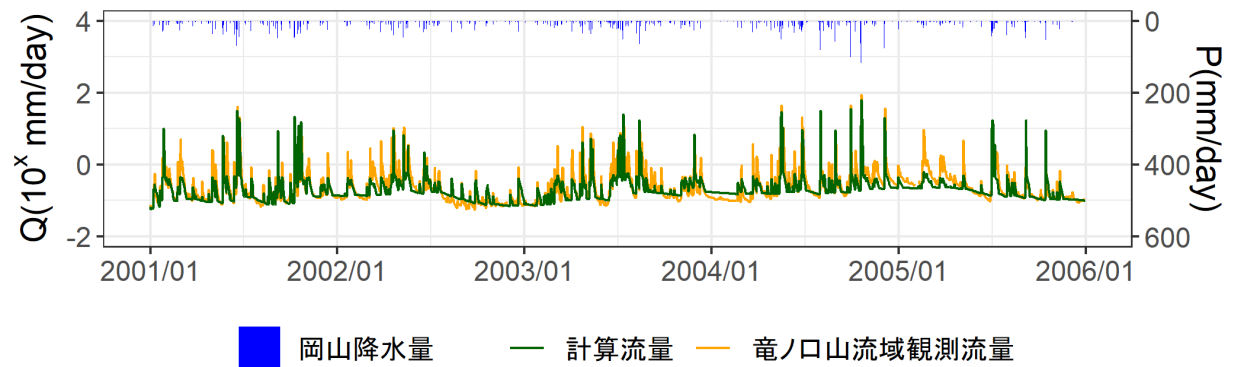


図-8. 竜ノ口山流域用に調整したタンクモデルのパラメータを用いた計算結果と竜ノ口山流域の観測流量

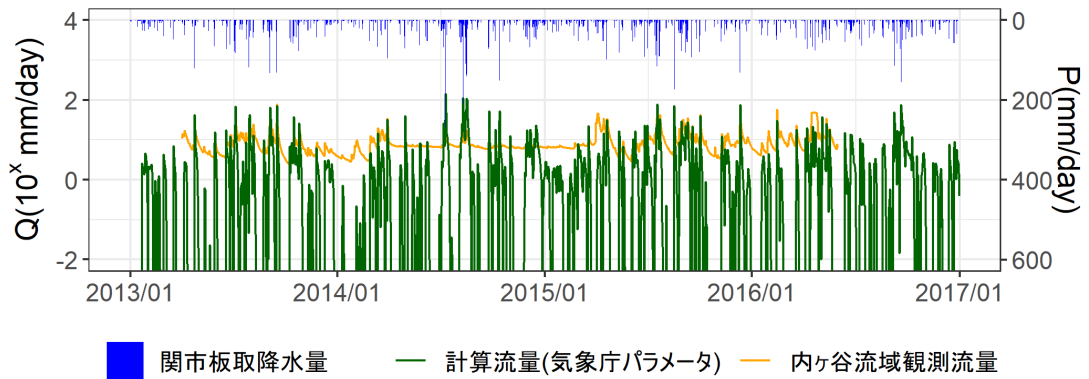


図-9. 土壌雨量指数の計算に気象庁が用いているタンクモデルに内ヶ谷流域の気象条件を入力した際の結果と内ヶ谷流域の観測流量

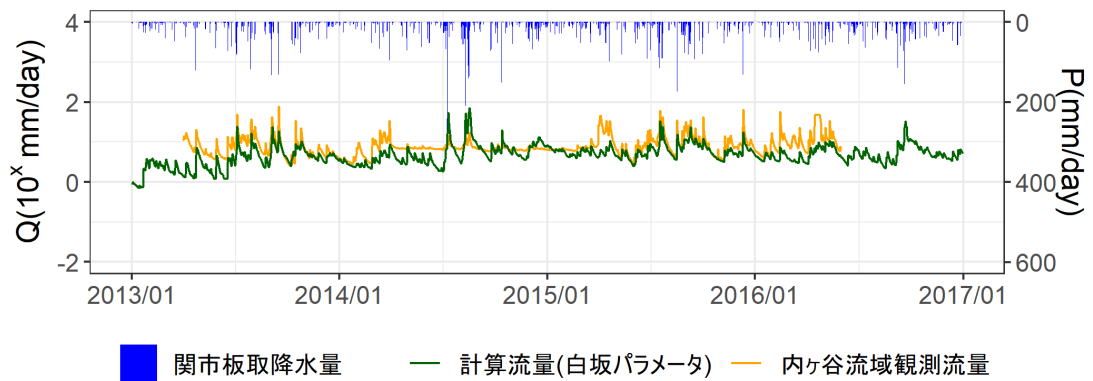


図-10. 白坂流域のタンクモデルに内ヶ谷流域の気象条件を入力した際の結果と内ヶ谷流域の観測流量

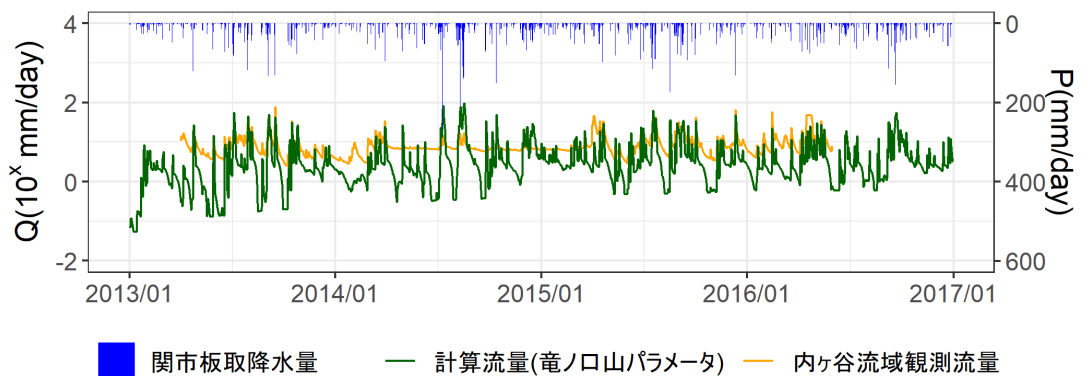


図-11. 竜ノ口山流域のタンクモデルに内ヶ谷流域の気象条件を入力した際の結果と内ヶ谷流域の観測流量