

水循環解析の更なる社会実装に向けて

国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水循環研究室 西村宗倫

1. はじめに

水循環基本法では、「水が国民共有の貴重な財産であり、公共性の高いもの」と位置づけられ、水が健全に循環し、その恵沢を将来にわたり享受できるように、水循環に関する施策を総合的かつ一体的に推進していくこととされている。

一方で、同法で「水循環とは、水が、蒸発、降下、流下又は浸透により、海域等に至る過程で、地表水又は地下水として河川の流域を中心に循環すること」と定義されているとおり、水循環とは様々なプロセスを包含した極めて複雑な系である。

そのため、水循環に関する施策を推進するには、水循環系を理解した上で、施策の効果の評価が必要不可欠である。そこで、これを支援とする技術として、「水循環解析」が重要なツールになり得ると考えている。

水循環解析とは、計算機の中で様々な水循環に関するプロセスを再現し、連成させ解析する技術である。参考に、図2に水循環解析モデルの概念

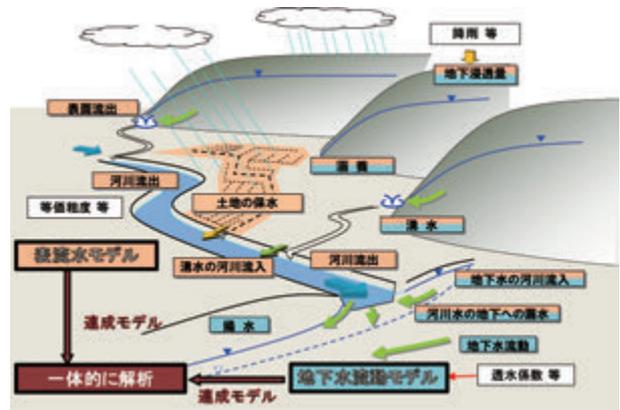


図2 水循環解析モデルの概念図

図を示す。これにより、観測では得られない水文プロセスの諸量や水収支の把握が可能となる。また、施策の有り無しで解析結果を比較することで、施策が複雑な水循環系にどのような影響を与え、期待する効果が得られるかの定量的な評価が可能となる。

弊職は、これまで鳥取県千代川流域及び福井県



図1 水循環の目指す姿

[出典：内閣官房水循環政策本部事務局^{※2}]

大野盆地を対象として、水循環解析を実施してきた^{*1}。限られた知見であり、また、今後の研究等により見解が変わる可能性もあるが、「水循環解析を利用する上での留意点」について所感を述べたい。また、重要な政策技術課題であり、現在検討中の「気候変動による渇水影響評価への水循環解析の活用」について所感を述べたい。これから水循環解析を利用したいと考えている地方公共団体等の方に参考になればと思っている。

2. 水循環解析を利用する上での留意点

1) データの重要性

水循環解析モデルを構築し、再現性を検証する上では、様々なデータが必要となる。特に、地形・地質、河川流量、地下水位、河川取水量、地下水取水量、気象データ、土地利用に関する資料が重要であるのは言うまでもない。即ち、これまで一定の観測が実施されてきた地域でないと水循環解析の構築は困難とも言える。参考に、表1に鳥取県千代川流域での水循環解析で用いた主なデータを示す。

もちろん、これら以外にも有効と思われるデータは数多くある。例えば、水田からの涵養量が大きいと思料される流域では水田面積の正確な把握、2面張りの小河川からの涵養量が大きいと思料される流域では小河川の簡易的な測量データが有効と思われる。また、河川を付け替えている場合は旧河道の情報も有効と思われる。

また、地質モデル等の検証には、広域的に同時観測された地下水位データが有効と思われる。また、河川と地下水の水交換量等の検証には、広域的に同時観測された河川流量が有効と思われる。このように、各機関が健康診断的に実施している定期調査以外の調査も有効となる。

このように様々なデータがあって水循環解析モデルの構築が可能となり、そして、その精度はデータの質と量に依存することに留意する必要がある。

参考に、図3に福井県大野盆地で実施した際の水循環解析の地下水位の再現計算結果を記す。

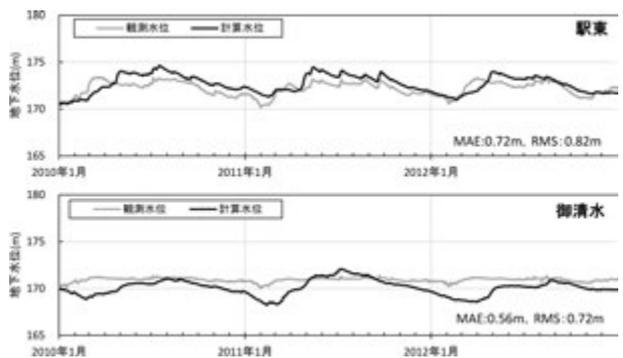


図3 福井県大野盆地の水循環解析の地下水位の再現計算結果

大野市では、地下水位観測所が約30箇所あり、継続的に地下水揚水量も把握されてきた。この地域では、全ての地下水観測井ではないが、地下水位のレベルは概ね再現され、駅東地下水位観測所では、季節変動も概ね再現される結果となった。

表1 鳥取県千代川流域での水循環解析で用いた主なデータ

No	分類	データ項目		資料名		使用目的
1	気象	降水量、気温		・気温:アメダスデータ	気象庁	入力データ
				・降水量:解析雨量データ	気象庁	
2	地形	陸域地形	地形図	・2万5千分の1地形図(10mメッシュDEM)	国土地理院	モデル構築
				・千代川LPデータ(1m, 5mメッシュDEM)	国土交通省	モデル構築
		河道形状	河川測量	・河川縦断面・横断面(測量資料)	国土交通省、鳥取県	モデル構築
3		土地利用		・国土数値情報(土地利用細分メッシュ)	国土地理院	モデル構築
4	地質	表層地質		・20万分の1シームレス地質図	産業技術総合研究所	モデル構築
				・地質平面図	鳥取大学・鳥取県	モデル構築
		地質構造		・地質断面図、コンター図	鳥取大学・鳥取県	モデル構築
5	水文	河川水	河川流量	・河川流量観測データ(テレメータ)	国土交通省、鳥取県	モデル検証
		地下水	地下水位	・地下水位観測データ	国土交通省、鳥取県	モデル検証
6	水利用	ダム	流入量・放流量	・ダム管理年報	国土交通省、鳥取県他	入力データ モデル検証
		河川取水量		・河川取水量報告	国土交通省	入力データ
		地下水揚水量	地下水揚水量	・地下水揚水井戸位置データ ・地下水揚水量取水深度データ ・地下水揚水量月別データ	鳥取県、流域市町	入力データ

勿論、地質構造も比較的単純であった可能性もあるが、これは特筆すべき結果と考えている^{*3}。

2) 継続的なトライアルの重要性

上述のとおり、水循環解析は様々なデータを要する複雑なモデルである。その構築にはトライ＆エラーが必要となる。また、モデルを構築し再現性を検証する過程で、改善点や不足するデータに気づく事もある。場合によっては、観測体制を見直し、一定期間の観測を行った後に再度モデルを構築する事も想定される。

なお、敢えて、失敗を報告すると、鳥取県千代川流域で解析を行った当初は、再現計算の際に、地下水取水量の解析値と実績値の乖離をチェックしていなかった。昨年、水循環解析を地下水の水資源量評価的な用途に用いる事になったことから、これを確認したところ、相当な乖離があった。これを図4に示す。

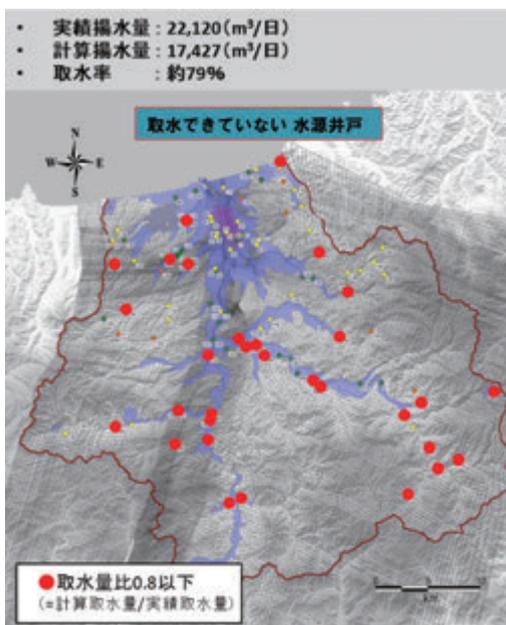


図4 鳥取県千代川流域の水循環解析の実績揚水量と計算揚水量

図4は、現実に取り水している地下水をモデル上で揚水しようとするメッシュ上に水がなくなり、揚水出来なくなっていたとも言える。これは、特に、上流部の河川付近の地下水取水井で顕著に見られた。つまり、本来、上流部で取水されている筈の地下水が、モデル上では取水されずに下流に流れていたことになる。

なお、これは、河道付近の地質メッシュを見直し、改善を図った。

このように、観測体制の充実や水循環解析モデルの構築も含めて、継続的なトライアルの重要性に留意する必要がある。

3) 解析結果の利用の留意点

水循環解析モデルは分布型のモデルであるため、その結果は、図5の流線軌跡図のように視覚的な表現が可能である。

これは地下水の全体の流れや、そもそも地下水が土地に付随したのではなく、大きな循環系の中で存在している事の理解に大きく役立つものと思われる。しかし、この流線は必ずしも各地点での流向・流速を検証したものではない。

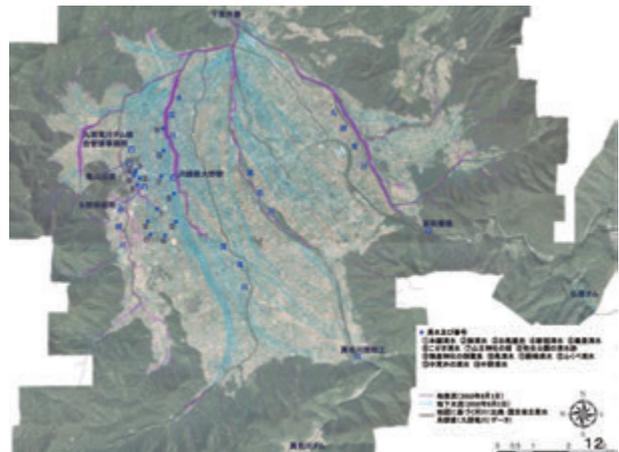


図5 福井県大野盆地における流線軌跡図

また、水循環解析モデルは、平野部と山間部で異なるが数十m～数百mでメッシュ構造を設定することが多いものと思われる。河道部及び河道付近は、更にメッシュを細かく設定することも有り得る。しかし、各解析メッシュの諸値を当該地の値として、直接的に用いることについては一定の判断が必要となる。参考に、図6に福井県大野盆地の水循環解析の地形モデルを示す。

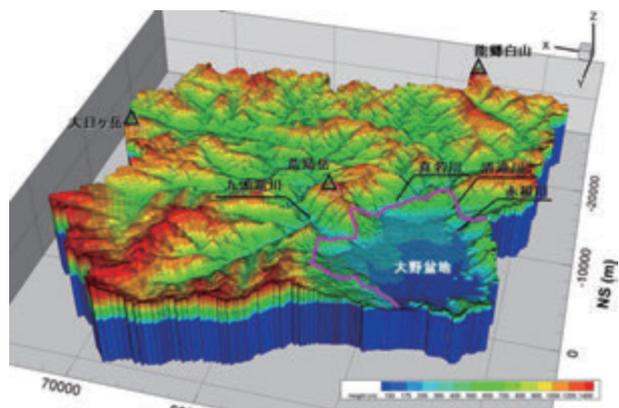


図6 福井県大野盆地の水循環解析の地形モデル

たとえば、あるメッシュの中に著名な湧水が存在としたとしても、そのメッシュの値が湧水を表現しているわけではない。

このように、解析モデルの空間解像度と解析結果の利活用の空間解像度は異なることに留意する

必要がある。これは、水循環解析の再現性の程度や、評価対象の項目の性質、更には用いる用途等を踏まえ、判断する必要がある。

3. 気候変動による渇水影響評価への水循環解析の活用

IPCC 第5次評価報告書において、「気候システムの温暖化には疑いの余地がない」とされている。

昨年の台風19号の洪水のように、近年、洪水被害が多く発生していることから、気候変動においては、我が国では、洪水への注目度が高いように感じている。しかし、渇水の分野においても、無降水日の増加や、蒸発散量の増加、積雪量の減少により、渇水の頻発化、長期化、深刻化が懸念されている。

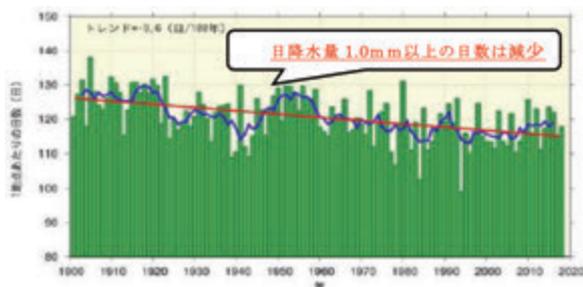


図7 日降水量1.0 mm以上の年間日数の経年変化(1898～2018)

[出典：気候変動監視レポート2018(気象庁)]

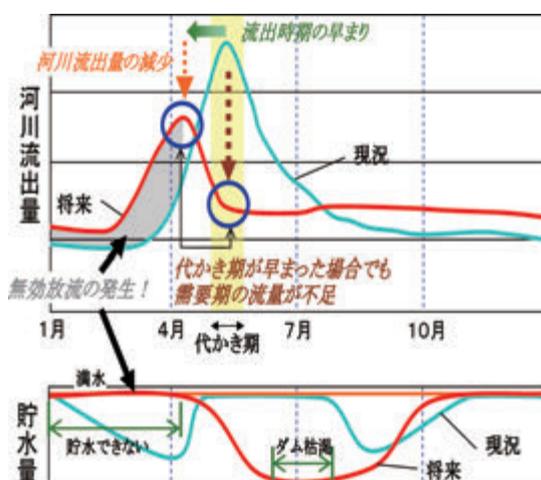


図8 少雪化に伴う河川流出量とダム貯水量の変化
[出典：「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的な水資源管理のあり方について」研究会 第一回 参考資料]

その一方で、高解像度領域大気モデルを用いて、多数のアンサンブル実験による気候予測^{※4}や、それを力学的ダウンスケーリング^{※5}する取り組みが為されている。これらにより、これまで以上のアンサンブル数・空間解像度による気候変動の極値現象の評価が可能となった。

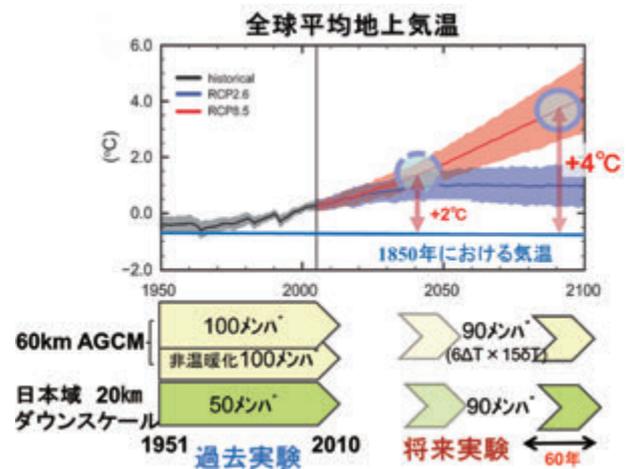


図9 d4PDFの過去実験と将来実験のメンバ数
[出典：d4PDF ホームページ]

ただし、気候変動の予測モデルの出力結果を渇水影響検討評価に活用するには、一定の精度の確保された低水流出解析モデルが必要となる。

そのため、今後は、水循環解析の活用方法として、特に、河川と地下水への水交換量が大きい地域や、積雪が地下水位に影響を大きく及ぼす流域等で利用可能性があるのではと考えている。検討する際は、低水流量の再現性は当然であるが、水循環解析モデルの積雪量の再現性、冬期地下水位の再現性等への着目も重要と考えている。

4. おわりに

水循環解析は、多種多量のデータを要する。国総研の実施したケーススタディにおいても鳥取県、大野市をはじめとして多くの機関からデータの提供を受けた。この場をお借りして再度、感謝の意を顕したいと考えている。深謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国総研水循環研地下水研究ホームページ
<http://www.nilim.go.jp/lab/feg/hp/chikasui.html>
- 2) 内閣水循環政策本部事務局ホームページ
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/mizu_junkan/index.html
- 3) 水循環解析におけるモデルの設定および再現性の検証事例の報告
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jagh/59/2/59_125/_article/-char/ja
- 4) 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース
<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/>
- 5) 気候変動適応技術社会実装プログラム
<https://si-cat.jp/staticpages/index.php/about>