長野の地下水資源と保全

冨　樫　　聡　　大　向　弘　明

水環境学会誌　第38巻（A）第7号（2015）
pp. 235～239　別刷
公益社団法人　日本水環境学会

長野の地下水資源と保全*

冨　樫　　聡　　大　向　弘　明

1．はじめに

これまでのわが国の水政策において，地下水に着目した理念や方向性を定める法律は存在しなかったが，2014年７月に施行した水循環基本法により，地下水に係る水資源管理は大きな転換期を迎えることになると予想される。

本稿では，まず長野県特有の水資源を形成する自然特性について触れ，次に長野県が実施した調査で明らかとなった県内水資源の変遷と現状の課題について概説する。さらに，地下水管理に関して国内の先進的な自治体である安曇野市の事例を紹介し，最後に長野県や安曇野市の取り組みを踏まえて，今後の国内の地下水保全に関する展望を述べる。

2．長野県の水資源に係る自然特性

長野県は日本列島のほぼ中央部に位置し，日本アルプスをはじめとする大起伏山地と複数の内陸盆地からなる（図１(a)）。県内での標高差は2,000 m以上あり，山地の大部分を占有する森林は県土面積の約78％に達する。また，信濃川（千曲川），天竜川，木曽川，姫川，関川，富士川，矢作川，利根川の８つ一級水系が端を発する水源域としての特色を有し，これら大河川は県内の肥沃な盆地を形成した。一方，県土は南北に長く，高い山に囲まれた内陸県であるという地理的要因により，県内でも地域によって気候が大きく異なる。北信（飯山市等）は冬季の降雪が多いが，南信（飯田市，伊那市，諏訪市等）の冬季の降雪は少ない。中信（松本市，安曇野市等）も同様に冬季の降雪は少なく晴天となることが多い。また，県の南部や木曽地域では梅雨や台風により降水量が多く，逆に東信（上田市，佐久市等）は内陸性気候のため年間降水量が約900 mmと全国でも有数の少雨地域である（図１(b)）。

3．長野県の水資源

地域で異なる自然特性を踏まえて，長野県では県全域を対象として水資源の実態把握を目的とする調査（以下，県調査と呼ぶ）を実施した。事業の目的や概要については村田[1]を参照されたい。ここでは，調査時の要点や調査で明らかとなった水資源の実態について，とくに地下水に着目しながら概説する。なお，調査にあたり以下に示す課題の解決を念頭に置いた。以下は長野県のみの問題ではなく，他都道府県も同様の状況と想定される。

課題１　水文地質構造や地下水流動機構が不明瞭
課題２　データ（地質，取水等）の地域的な偏在・不足
課題３　地域ごとに異なる水資源リスクの理解不足
課題４　水資源を共有する上下流の関係性の理解不足

これら課題を踏まえて長野県では，①地域特性を表現しうる水循環解析の実施，②市町村の施策に資する調査結果の提示，③県が継続的に管理・運用できる水循環解析ツールの開発の３つを基本方針に掲げて，調査を実施した。

3.1　水循環解析モデル

近年，とくに国土交通省は，流域圏を対象とする水循環解析に，表流水と地下水を一体として解く統合型水循環モデルを用いて検討することが多い（例えば，菊池ら[2]）。統合型水循環モデルは広域圏での出水イベント

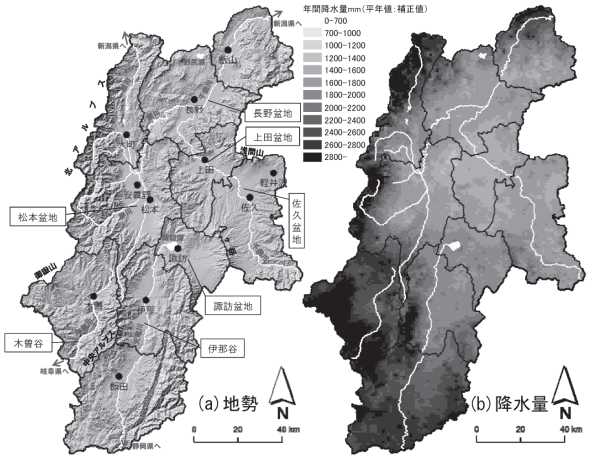

図１　(a)長野県の地勢と(b)年間降水量分布（平年値）

Akira Tomigashi
博士（工学）
平成17年　信州大学大学院工学系研究科博士前期課程修了
同年　八千代エンジニヤリング㈱入社
26年　信州大学大学院総合工学系研究科博士後期課程修了
現在　八千代エンジニヤリング㈱総合事業本部地質・地盤部主任

Hiroaki Oomukai
昭和52年　長野県立松本工業高校卒業
同年　三郷村役場入職
平成17年　（３町２村が合併し安曇野市誕生）
現在　安曇野市市民生活部環境課長

＊　The Management and Protection of Groundwater in Nagano Prefecture

毎に，表流水と地下水の移動を同時に定量化できるため，流域管理において有用なツールとなる。しかしながら，設定パラメータの複雑さや計算負荷等の課題も有し，目的に応じて適切にモデルの選択やモデルデザインがなされる必要がある。そこで長野県では上述の基本方針に従って，県でのモデル運用を想定し，簡便な水循環モデルを構築した（図２）。構築したモデルは，分布型の水収支モデルと物理モデルとなる地下水解析モデルで構成される。

なお，水資源の実態を把握するにあたり，県調査においては地域の水収支バランスを明らかにすることに重点を置いた。そこで，長野県の水循環モデルは，とくに水収支モデルを工夫して水収支解析の精度向上を図っている。

3.2　水収支解析

県調査では，気象条件に平年値の気象データ（気象庁：メッシュ平年値 2010）を用いることで，人為的影響が水資源に与えた変遷を明瞭化した。ここで，人為的影響とは検討年毎の土地利用の他，地域別の地下水取水量，耕作放棄地率，水田湛水期間，湛水時の減水深等を想定している。

水収支解析は，県内を約 1 km 四方で分割したメッシュ毎に月別水収支を数学モデルに基づき計算した後，解析結果を集計して年間総和値で整理した。各メッシュには気象データや上述の人為条件データの情報を付与し，精緻な地域特性を解析に反映した。

蒸発散量の推定にあたり，とくに県土の大部分を占有する森林域での推計精度の向上が求められた。そこで県調査では，メッシュ平年値 2010 データを活用する森林域に特化した小松らが提唱したモデル[3] を採用し，また他の土地利用種別でも既往研究[4~6] 等を参考にしてメッシュ蒸発散量を求めた。表面流出量は，月別メッシュ降水量に土地利用に応じて設定する流 出係数を乗じて概算した。なお，村田[1] で述べられたとおり，県調査では森林域での表面流出量を火山地質の有無を考慮し評価している。すなわち，火山地質が分布しない森林域では降水量から蒸発散量を減じて表面流出量を概算し，火山地質が分布する森林域では既往文献[7] より設定した浸透率を降水量から蒸発散量を減じた値に乗じることで浸透量を求め，これを差し引くことで表面流出量を概算した。

以上の手法により水収支解析をおこない，メッシュ毎に得られた計算値を観測値と比較することで，提案モデルの妥当性を評価した。検証地点とした流量観測地点（26 箇所）ごとに，各集水域に該当するメッシュ計算値を集計した年間総量と観測値を比較したところ，決定係数は $R^2 = 0.9809$ と両者はよく合致し，モデルの妥当性が確認された。本解析で設定した流出率等のパラメータは一般値であり，計算値の再現性を高めるためのパラメータ調整はしていない。なお，計算条件となる降水量は，メッシュ平年値 2010 を解析雨量[8, 9] で補正したもの（図１(b)）を用いている。

3.3　長野県における水収支の変遷

ここでは，最新の土地利用データの整備年である 2009 年と，比較のために過去の土地利用データ整備年のひとつである 1987 年において，水収支解析結果を整理・比較する。両年の土地利用を図３に示す。長野県全域の特徴として，水田面積は減少，耕作放棄地率は増加傾向（長野県作物統計より）にある。また，長野県水道統計調査，経済産業省工業統計調査，農林水産省農業用地下水利用実態調査の各結果の整理を図４に示す。近年における長野県全域の地下水取水量は，上水利用はほぼ横ばい，工業利用，農業利用は減少傾向にあることがわかる。

両年の水収支解析で得られた蒸発散量，表面流出量，地下浸透量をそれぞれ図５，図６，図７に示す。図５～図７を見ると，長野市，松本市，飯田市などの市街化が進む地域では，表面流出量は増加，蒸発散量と地下浸透量は減少していることがわかる。また，火山地質の分布する地域では地下浸透量が多く，これにより安定した水資源が供給されることがわかる。実際に，少雨地域である佐久市，上田市等が位置する東信では，浅間山と八ヶ

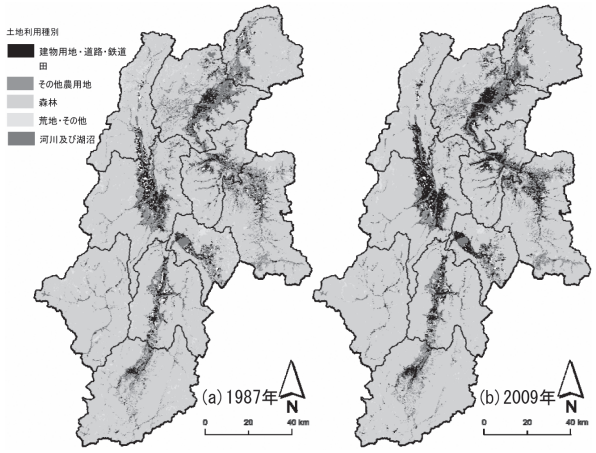

図３　土地利用　(a)1987 年，(b)2009 年

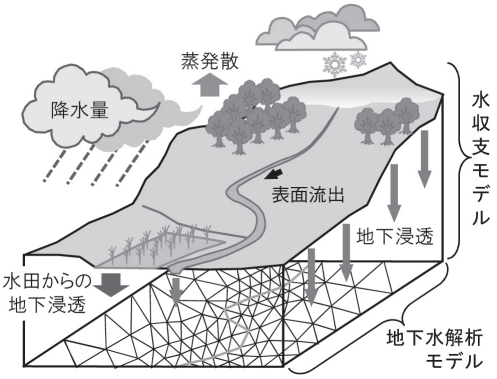

図２　長野県調査の水循環解析モデル概念図

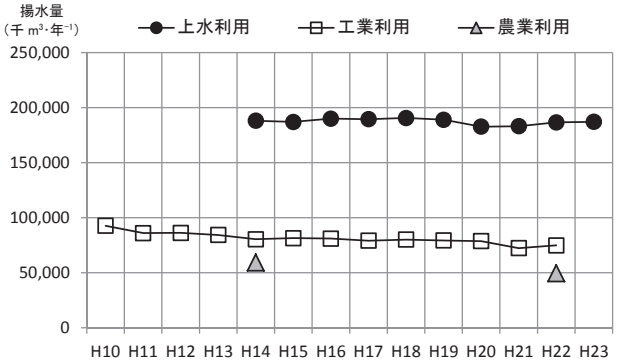

図４　長野県における年間地下水取水量の推移

岳の火山体に賦存する地下水が主要な水源となっており，これは長野県で過去20年余年間にわたり渇水発生がゼロである要因のひとつと考えられる。

一方，水田域に着目して水収支解析結果を見ると，水田の減少にともない蒸発散量が減少している。これは水田湛水時の水面蒸発が減少するためである。また，表面流出量の変化は小さいが，地下浸透量は水田面積の減少や耕作放棄地率の増加により顕著に減少している。例えば松本盆地では，1987年の年間地下浸透量は水田からの涵養効果により年間降水量を上回る地下浸透量があったと推計された。しかしながら，2009年では1987年に対して盆地全域で減少しており，この地下浸透量の減少によって，後述の地下水流動解析から評価する地下水賦存量も減少傾向にあることが確認された。

以上のとおり，長野県での主要取水帯水層の多くは盆地域に存在し，そのほとんどが閉鎖的な地下水系であるため，河川伏流の他にも水田からの地下水浸透が主な地下水供給源となっており，過去から現在にわたる水田の減少にともなって地下水資源量も徐々に減少している可能性が高いことが明らかとなった。

3.4　地下水流動機構の見える化

県調査では，地下水流動解析モデルによる数値解析の目的を，①地下水賦存量を算定するための地下水面分布の把握，②地下水系における上下流自治体の関係の把握，と位置づけ，主要帯水層を有する6地域を対象として準三次元地下水流動モデルを構築した。なお，地質データの整備状況や地域の問題に応じて数値解析モデルは適切に選択されるべきであり，三次元解析が必要な場合もある。

数値解析の計算値と既往調査や文献から収集した364地点の地下水位の観測値を比較すると，両者はR^2=0.9881と高い相関性を示したため，概ね再現性が図れたと判断した。本解析で用いた透水係数等のパラメータは当該地域の既往調査等を参考に設定した値であり，計算値の再現性を高めるためのパラメータ調整はしていない。また，数値解析から得られた流速ベクトルを用いて，粒子追跡解析を行い，地下水の流動経路（流線）を得た。図8には諏訪湖モデルの流線網図を一例として示す。このように，流動経路の可視化により自治体間を流動する水資源を見える化することは，流域内の上下流問題の解決に寄与する基礎情報となる。なお，これら県調査の数値解析結果は長野県webサイトで公開の予定である。

4．安曇野市の取り組み

4.1　安曇野市の地勢と地下水環境

安曇野市が位置する松本盆地は，複合扇状地からなる厚い砂礫層を帯水層とし，これに賦存する豊富な地下水は上水道や農業・商工業などに広く活用されている。とくに，犀川，穂高川，高瀬川の三河川が合流する地域は

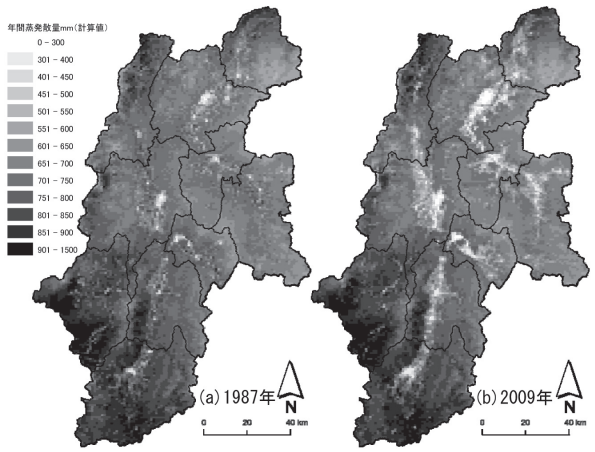

図5　解析結果：蒸発散量　(a)1987年，(b)2009年

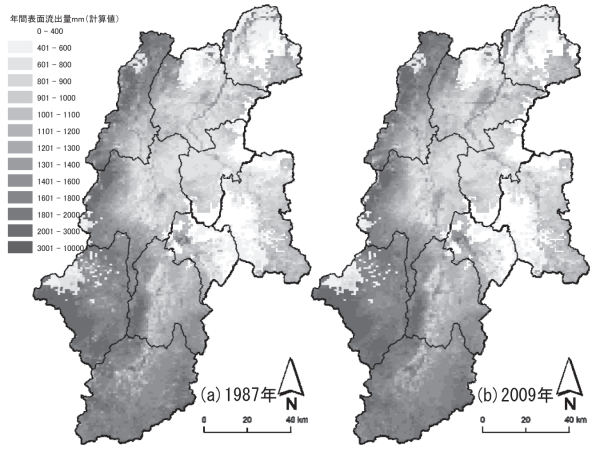

図6　解析結果：表面流出量　(a)1987年，(b)2009年

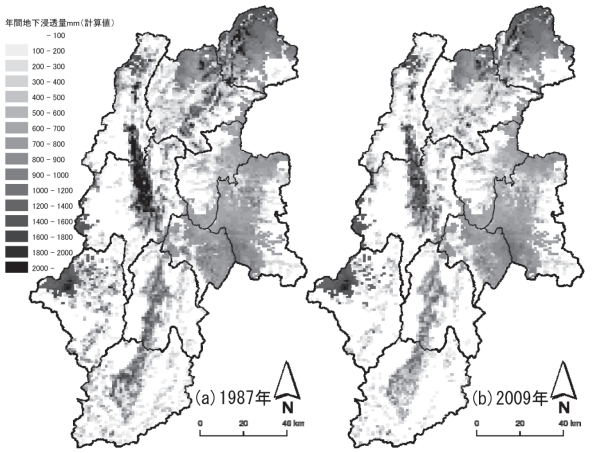

図7　解析結果：地下浸透量　(a)1987年，(b)2009年

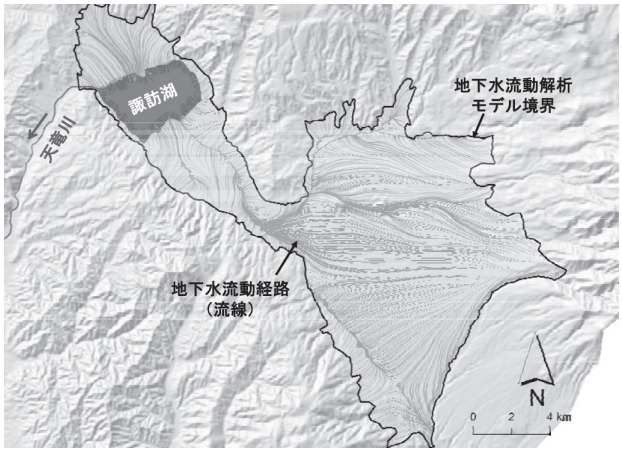

図8　地下水流動解析結果：流線網図（諏訪湖モデル）

三川合流部と呼ばれ，地域の降水を集める特殊な地域である。さらに，この地域は地下水の流出も同様に集中するため，名水百選に選ばれた水量の豊富な湧水帯（安曇野わさび田湧水群）を形成[10, 11]し，わさび栽培や養鱒業などの特色ある地場産業が発展してきた。一方，県調査でも明らかとなったように，長期的に見ると盆地の地下水賦存量は減少傾向にあり，これにともない一部地域では湧出量が減少している。とくに近年，一部のわさび田で水枯れが発生したこともあり，これは事業者や地域住民に対して水資源保全の危機感を抱かせるひとつの契機となった。

4.2　取り組みの経緯と現状

安曇野市が2010年7月に市民を対象に行った「地下水保全に関するアンケート調査」から，図9に示すとおり地下水保全のための具体的な対策を望む声が高まっていることがわかった。このような背景を受けて市では，「共有財産である地下水を守り，育み，活かす」ことを基本理念とした地下水資源強化・活用指針（2012年8月）を示し，2013年4月には地下水の保全・涵養および適正利用に関する条例を施行した。また，折しも水循環基本法が施行され，地方公共団体が「その地域の特性に応じた施策を策定し，および実行する責務」を有する中，市は水環境基本計画の策定委員会を設置して（2014年8月），市民や事業者等の地下水利用者の合意形成を得て施策を展開するという困難な課題に挑戦しつつ，水環境基本計画の2016年度中の施行を目指しているところである。

4.3　安曇野ルール

松本盆地を対象に1986年と2007年の2度にわたり地下水調査が実施されている。これら調査結果で把握された地下水位等高線を比べると明らかな地下水位の低下が見られ，21年間で1億2,500万トン（1年あたり平均600万トン）の地下水が失われたと推計された。そこで安曇野市では，2011年7月に地下水保全対策研究委員会を発足し，地下水の保全・涵養・適正利用に関する調査・検討をおこなった。その後2年間にわたる協議を経て，上述の指針が策定された。国内の他自治体に目を向けると，地下水保全に関わる条例は大きく「土地取引ルール」，「地下水取水ルール」，「地下水涵養ルール」の3つのタイプに分類できる[12]。これらが単独，あるいは組み合わされるのが一般的であるが，このうち安曇野市は，地下水取水ルールと地下水涵養ルールを指針に盛り込んでいる。

地下水取水ルールについては，2013年4月に施行した上述の条例で先行して対応している。この条例では，

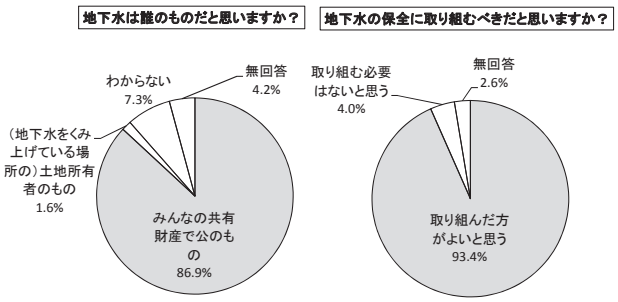

図9　地下水保全に関するアンケート結果（安曇野市）

地下水を市民共有の財産として，地下水利用者（井戸等）の利用状況の届け出および年間利用量の報告の義務化，新規取水者の事前届け出制および一定量（一定吐出口断面積）以上を取水する場合の事前協議の導入などの取水ルールを定めている。具体的には図10に示すフローに従い，地下水を利用するすべての市民・事業者を対象に届け出制を適用することとした。

一方で，地下水涵養ルールに目を向けると，2012年以降で安曇野市は市内農業経営者の協力を得て，小麦の刈取り後の転作田の水を張る「麦後転作田湛水」の実証事業を実施している。これは，市内の転作作物毎の作付面積調査（2011年度）から各種作物の中で718 haと最も作付面積が多かった小麦の転作田を有効利用するものである。実証事業では，6月の小麦の収穫後，転作田に畔塗りと代かきをし，7月から9月のうちで約2ヶ月間，一時的に水をまわして水を張る。この期間は稲の中干し期間に当たるため新たに水利権を取得する必要はない。なお，仮に市内350 haの転作田に2ヶ月間湛水した場合，年間600万トンの地下水涵養が実現できることになる。これにより，水収支上では前述の1年あたりに失われる地下水賦存量と同量の水を生み出すことができる。また，麦後転作田湛水は地下水涵養の効果のみでなく，麦後転作田湛水で小麦収穫後の転作田を代かきすることで土壌中の養分の均一化が図れ，さらに水を張ることで連作障害の原因となる微生物等の繁殖を抑制する環境が形成されるため，農業面でのメリットも期待される。しかしながら，畔塗りや周辺の営農に影響の水張り方法等の問題も残る。今後，関係機関との連携をとりながら実証事業結果を検証して，これら問題の解決策を探り，事業拡大を目指す予定としている。

今後の事業拡大に向けて最も重要となるのは，麦後転作田湛水に協力する農家への協力金の確保となる。これには地下水利用者からの協力金徴収を想定し，現在市ではその仕組みを検討中である。

4.4　流域連携

水循環基本法の第十六条に流域連携の推進が謳われているが，流域連携についても全国に先駆けた取り組みを実施している。2012年，松本地域8市村と北安曇地域3市町村，長野県で構成する「アルプス地域地下水保全対策協議会」が発足した。協議会では，松本盆地を一つの「水がめ」と捉え，盆地全体を対象とした地下水の水位，取水量，水質の一斉調査等を協力して取り組もうとしている。最終目標としては，関係自治体がそれぞれ抱える問題や事情を調整の上，地下水の保全・涵養・適正利用に関する統一ルールづくりを目指すこととなる。

5．おわりに

松本盆地だけでなく，長野県にある盆地は閉鎖系の地下水システムを形成しており，これら地域における主要な地下水供給源は水田湛水時の地下浸透と河川からの伏流である。このうち，水田からの地下浸透量は，水田面積の減少，耕作放棄地率の増加，市街化等の要因により，県内全域で減少傾向にあることが明らかとなった。

今後，市町村が主体となり地下水の保全や活用を図るには，このような水資源の現状を理解し，水収支の観点から適正な水利用量または涵養量を把握することが重要

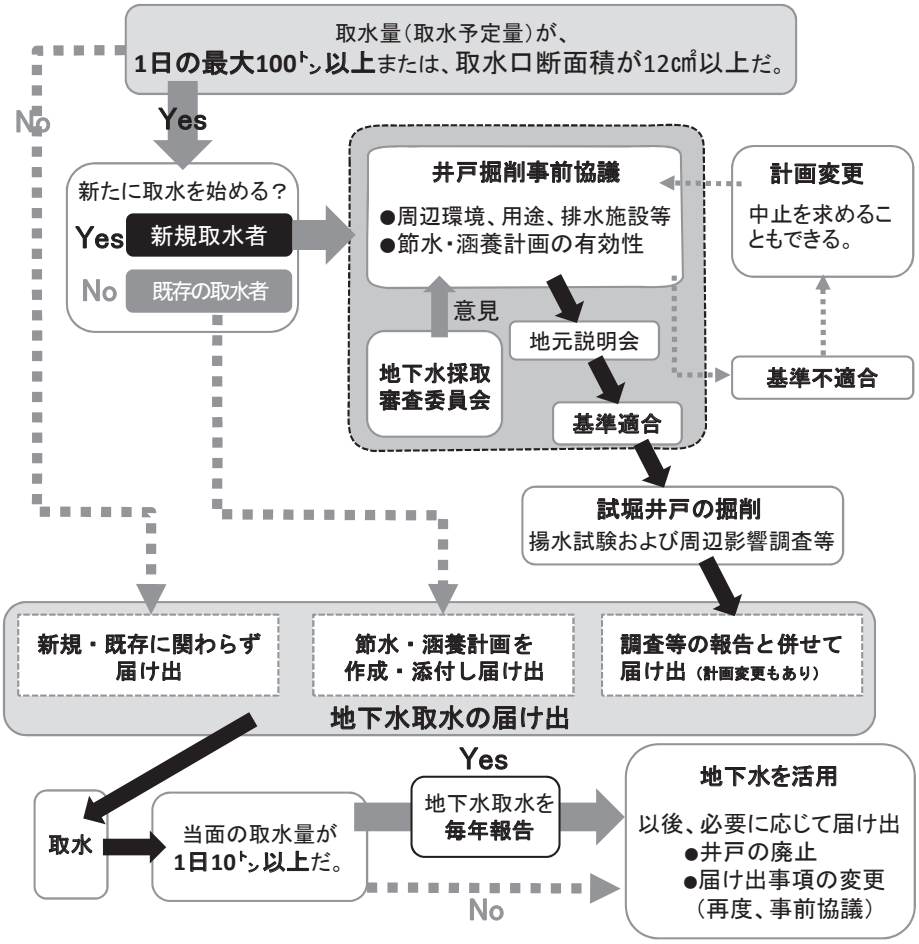

図10　安曇野市の取水ルール

となる。長野県では，県調査の結果をとりまとめた市町村別の「水資源分析シート」を作成するとともに，市町村の水環境行政担当者に対して調査結果の解説とデータ提供を行っている。また，永続的な地下水資源の保全と活用に関しては，適正利用と強化を掲げる安曇野市独自および周辺自治体と連携した取り組みが，今後県内のみでなく国内に対しても広く展開するものと考えている。

地下水を資源として捉えた場合，水資源のみでなくエネルギー資源（熱源）としても考えることができる。安曇野ルールにもあるとおり，持続可能な社会システムの形成と永続的な地域の発展のため，地下水資源を活用し，豊かな水環境を次世代に引き継ぐことが，現代を生きる我々の責務である。

参　考　文　献

1）　村田博（2015）長野の水環境の現状と保全の取り組み，水環境学会誌，**38**（A）(7)，230-234.

2）　菊池英明，長谷川怜思，中元道男，山田文彦（2013）統合型水循環モデルによる白川流域の土地利用変化に伴う河川，地下水挙動の把握，日本地下水学会2013年秋季講演会講演要旨，222-225.

3）　小松光，澤野真治，久米朋宣，橋本昌司（2005）森林の特性と蒸発散量の関係，日本森林学会誌，**87**（2），170-185.

4）　椎名幹治（1960）水田減水深についての一考察，土壌の物理性，**3**，14-18.

5）　蒸発散研究グループ（1967）水田の蒸発散，農業気象，**22**（4），13-21.

6）　近藤純正（2012）湖面や海面の蒸発，天気，**59**（6），75-78.

7）　下津昌司（1988）阿蘇火山流域における水収支に関する観測研究，土木学会論文集，**393**，141-150.

8）　新保明彦（2001）レーダー・アメダス解析雨量（Ⅰ），天気，**48**（8），579-583.

9）　新保明彦（2001）レーダー・アメダス解析雨量（Ⅱ），天気，**48**（10），777-784.

10）　小宮洋行，中屋眞司，益田晴恵，日下部実（2003）酸素および水素の安定同位体比と水質から見た長野県松本盆地中・南部地域の広域地下水流動系，日本地下水学会誌，，**45**，145-168.

11）　山本晃，伊藤善和，谷保和則，猿田久雄，高橋努，濱里学，妹尾嘉之（2007）松本盆地の地下水の現状と課題，日本地下水学会2007年秋季講演会要旨，18-21.

12）　橋本淳司（2013）日本の地下水が危ない，p.118，幻冬舎，東京.