愛媛県西条市道前平野における農業用水利用と地下水

高瀬恵次*・中野孝教**・徳増 実***

Irrigation water use and groundwater in alluvial plains in Ehime Prefecture

Keiji TAKASE*, Takanori NAKANO** and Minoru TOKUMASU***

Abstract

Two alluvial plains, Saijyo plain and Shuso plain, are located at a coastal area of Seto Inland Sea in Saijyo city, Ehime prefecture. In the area, a lot of groundwater was used with wells from long ago because of a little surface water resource, and the conservation and management of groundwater is a most important policy of the city. In this paper, water use, water balance and water quality in the two plains were compiled based on our previous research. As the result, it was indicated that the dependency of irrigation water on groundwater was relatively high and over-pumping has been often a matter on severe lowering of groundwater level and seawater intrusion in the Saijyo plain. It was also analyzed that the seepage from paddy fields played an important role on groundwater recharge in both of plains. Furthermore, it was shown that high concentration of nitrate nitrogen in groundwater was a problem in Shuso plain due to the use of fertilizer in orchards.

Key Words: pumped up water for irrigation, diversion water for agricultural use, nitrate nitrogen concentration, coastal area of Seto Inland Sea

要 旨

愛媛県西条市の道前平野は西条平野と周桑平野からなる。両平野は寡雨な瀬戸内沿岸にあって地表水資源に乏しく、古くから地下水の利用がなされてきた。現在においても、生活用水の地下水依存度はほぼ100%で、地下水の保全と管理は市の重要な政策課題となっている。本報告ではこれまでの調査・研究成果をもとに、両平野における水利用、地下水を含む平野の水収支および地下水の水質の状況をまとめた。そして、両平野とも地下水涵養には水田からの浸透が重要な役割を果たしていること、国営の農業用水事業により流域外からの分水利用が行われている周桑平野に比べて、西条平野では農業用水の地下水依存度が高く、沿岸平野部では灌漑少雨期に地下水の急激な低下と塩水化が生じていることなどを示した。一方、周桑平野では平野周辺の果樹園等での肥料使用により、地下水の硝酸イオン濃度の高い地域が分布することも示した。

* ホクコク地水（石川県立大学客員教授）（〒921-8021 石川県金沢市御影町25-1）
Hydro-geographic Engineering Co.,LTD. (Guest Professor of Ishikawa Prefectural University)

** 総合地球環境学研究所（名誉教授）（〒603-8374 京都府京都市北区上賀茂本山457-4）
Emeritus Professor of Research Institute for Humanity and Nature

*** 愛媛大学大学院連合農学研究科（〒761-0795 香川県木田郡三木町池戸2393）
The United Graduate School of Agricultural Sciences, Ehime University

キーワード：農業用ポンプ揚水，農業用水の分水，硝酸イオン濃度，瀬戸内沿岸平野部

1. はじめに

愛媛県東予地方西条市に位置する道前平野は、中山川下流の周桑平野と加茂川下流の西条平野とからなる。その東には新居浜市を流れる国領川下流の平野を中心とする新居浜平野が広がっている。

これらの地域は瀬戸内海に面し、年降水量は1300mm前後で我が国の平均値に比べてかなり少ない。このため古来より農業用水を確保するため、ため池の築造や井戸掘りなど涙ぐましい努力が重ねられてきた。とくに井戸については、新居浜平野では、「まいまいず井戸」、西条平野では「うちぬき」、周桑平野では「いずん堀」などそれぞれの地域に固有の地下水利用が発達し、現在もなお多くの地下水が農業用水として利用されている（西条市，2020）。農林水産省による農業用地下水の利用実態調査（農林水産省農村振興局農村環境課，2011）によれば、愛媛県内4地域（新居浜・道前平野，今治平野，松山平野，南予）での農業用地下水の利用量は9026万 m^3 /年で、全国で9番目である。このうち新居浜・道前平野での利用は4地域総量の58%を占め、愛媛県の中でも地下水の依存率が高い地域であることを示している。とくに、本報告で対象とする西条平野と周桑平野では、現在においても、生活用水の地下水依存度はほぼ100%で、地下水の保全と管理は市の重要な政策課題となっている。そこで、本報告ではこれまでの調査・研究成果をもとに、この隣接する2つの平野での地下水の利用実態を明らかにし、農業用水と地下水の関係について検討した。

2. 対象地域の概要

図1には道前平野（西条平野と周桑平野）の概要を示す。この地域は2004年、旧西条市，東予市，小松町，丹原町の2市2町が合併し、西条市となった。図に示すように、西条平野は市東部に位置し、加茂川が平野に開ける地点を扇頂とする

狭い扇状地と沿岸部の沖積地帯からなる。平野部面積は26 km^2 で、このうち水田が約60%を占め、畑地はごくわずかである。背後地を形成する山岳地域の面積は175 km^2 で、前縁山地に沿って岡村断層が東西に走るほか、平野北部にも断層（以下では、西条北断層と呼ぶ。）が存在すると考えられている（徳増ほか，2019）。一方、周桑平野は中山川下流沿いに開けた面積およそ60 km^2 の沖積平野で、水田面積割合は約60%である。背後地面積は中山川左岸側が146 km^2 ，右岸側が53 km^2 で、平野北西部を流れる大明神川および関屋川が平野に流入する地域には典型的な扇状地が形成され、その大部分が果樹園地として利用されている。

3. 対象地域における水利用の状況

西条平野と周桑平野における年間の水使用量は、以下のようにして求めた。

1) 生活用水

西条市が公表している上水道・簡易水道の利用状況資料（西条市環境課，2018a）を参考にした。西条平野の生活用水の水源は、ほとんどが地下水である。その特徴は、「うちぬき」による自己水

図1 道前平野の概要

Fig. 1 Outline of the research area

源(地下水)を利用する家庭が多く、この地区(西条地区)の総給水人口に対する上水道・簡易水道の給水人口はおよそ24%、1人1日当たりの水道使用量は347Lである。周桑平野での生活用水の水源は、一部、表流水を利用する地域もあるが、ほとんどが地下水である。上水道・簡易水道による給水人口率は西条平野よりも高く77%、1人1日当たりの水道使用量は292L(東予、丹原、小松地区の給水人口加重平均)である。このように両平野とも自己水源(地下水)を利用する家庭があるので、本論では1人1日当たりの水道使用量にそれぞれの平野の人口を乗じたものを生活用水使用量とした。

2) 工業用水

工業用水の水源は、地下水と黒瀬ダムからの送水である。このうち、地下水揚水量は西条市から提供を受けた資料、黒瀬ダムからの送水量は愛媛県から提供を受けた資料に依った。

3) 農業用水

農業用水の水源は、河川水、地下水およびため池である。河川水利用については、土地改良区の協力を得て入手した堰からの実績取水データに、西条市が実施した農業用水の実態調査報告書(西条市・愛媛県土地改良事業団体連合会, 2010)に記載の河川からのポンプ取水量を加えたものとした。ただし、堰からの実績取水量が不明な場合には、許可水量(最大値)を採用した。

農業用の地下水利用は、ほとんどがポンプを用いて行われている。西条市では農業用水実態調査として市内全域で農業用ポンプを調査し、ポンプの性能と使用電力量から使用量を推計している(西条市・愛媛県土地改良事業団体連合会, 2010)。この調査には個人利用のポンプや自噴水の利用が含まれていないことから、実際にはこの推計値よりもやや大きな量が揚水されていると予想されるが、本論ではこの推計値を採用した。なお、筆者らは、灌漑水量が田面有効降雨、河川水からの取水、地下水からのポンプ揚水の順で賄われるとして、農業用ポンプ揚水量を算定したところ、西条市の調査結果とほぼ一致することを示した(高瀬・徳増, 2019)。一方、周桑平野ではこ

の他に国営事業である道前道後平野水利事業により面河ダムから分水された水が農業用水として利用されており、この水量は道前平野土地改良区から提供を受けた資料に依った。

ため池については、それぞれの平野におけるため池数および貯水量区分別個所数のデータが入手可能であった(西条市・愛媛県土地改良事業団体連合会, 2010)。また、地元の土地改良区に年間の回転率(=年間利用水量/貯水量)を聞き取りしたところ、概ね2との回答を得た。そこで、ここでは総貯水量にこの値を乗じてため池の利用水量とした。なお、ため池の水源は河川水であるので、分類上は河川水とした。

以上のような種別揚水量の推計に当たって、生活用水の使用量は年による変化が少ないため最新(2018年)のデータを採用した。農業用水のうち地下水使用量については、前述の調査(2007～2009年)以降、調査が行われていないのでこの期間の平均値を、工業用水と面河ダムについては、入手期間の共通した2015～2018年の平均値とした。また、面河ダムの農業用水については、2017年から冬期用水も開始されたが、灌漑期の水量に比べてわずか(平均 $0.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$)であるので、ここでは考慮していない。

表1には、これらの水利用状況を平野別にまとめた。我が国の年間水使用量に対する地下水依存度が11%(国土交通省水管理・国土保全局水資源部, 2018)であるのに比べると、西条平野で45%、周桑平野で33%と両平野の地下水依存度は非常に高いことがわかる。とくに、生活用水はそのほとんどを地下水に依存しており、地下水の保全と管理は、市の重要な政策課題となっている。

表1 道前平野の年水利用状況

Table 1 Annual water resources in the research plains

用水種別	水源	西条平野		周桑平野		備考
		水量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$)	割合 (%)	水量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$)	割合 (%)	
生活用水	地下水	7.5	14.3	5.4 ¹⁾	7.8	2018年データによる 1) 周桑平野は一部、表流水
工業用水	地下水	4.1	7.8	1.8	2.6	2015～2018年平均
	黒瀬ダム	9.6	18.4	2.0	2.9	2015～2018年平均
農業用水	地下水	11.9	22.8	15.8	22.7	2007～2009年平均
	河川水	17.9 ¹⁾		27.3 ²⁾		1) 2008年実績から推計
	(ため池)	1.3	36.7	3.7	44.5	2) 2015～2018年実績平均、一部許可水量
	計	19.2		31.0		
	面河ダム	—	—	13.6	19.5	2015～2018年平均
計		52.3	100.0	69.6	100	

また、農業用水の地下水依存度も高く、西条平野では農業用水全量の40%に達している。これに対して周桑平野では面河ダムからの分水もあって地下水への依存度は、農業用水全量の26%とやや低いものの、後述するように、平野部周辺の果樹園地で利用される農業用水は、この地域の地下水の水質に大きな影響を与えている。

4. 道前平野における地下水と水収支

本章では、西条平野と周桑平野における地下水の特性や水収支について検討する。

4.1 地下水の流れと地下水位の変動

西条平野、周桑平野では西条市によって多くの観測井で地下水位の観測が行われている。図2は代表的な観測井の位置と、等地下水位線図から推定された地下水の流れを示したものである（西条市環境課，2018b）。このように、西条平野の扇状地域では、加茂川兩岸に広がる放射状の流れ、沿岸域では渦井川および加茂川からの流れが存在すると考えられている。一方、周桑平野中央部では中山川と大明神川からの流れが、中山川右岸部では背後地からの流れと一部中山川からの流れが存在することがわかる。なお、西条平野と周桑平野の境界部には、透水性の低いシルト層や粘土層が分布して両平野の地下水交換を妨げている。

図3には西条平野・周桑平野の代表的な地下水観測井における地下水位の経時変化を示す。西条平野全域での地下水位標高は0～7m、周桑平野全域では0～45mの範囲にある。なお、西条平野では西条北断層を境として、この断層の南北で地下水位の変動がやや異なることが示されている（高瀬・徳増，2019）。手計（2010）は、富山県黒部川扇状地の地下水位の変動を精査し、多くの観測井の地下水位は4～6月に上昇、7～8月にピーク、その後12～1月に低下、2～3月に再び小さなピークとなるような季節変化を示すとし、この変動は灌漑用水の利用と関連していると述べている。また、岩崎ほか（2013）は、石川県手取川扇状地の地下水位は、灌漑初期に上昇、灌漑期間中は高水位で安定的に推移し、灌漑期の終了とともに緩やかに低減することを示し、灌漑初期の

上昇は水田地帯における典型的な水位変化であると述べている。しかしながら、西条平野および周桑平野では水田地帯が広がるにもかかわらず、このような傾向はとくには認められず、むしろ、春から夏の灌漑期に地下水位が低下することも多い。

4.2 両平野の水収支解析

筆者らは20年以上前から道前平野地下水の科学的調査・解析と保全・管理に携わってきた。そこで、本節ではその一部を紹介し、瀬戸内沿岸平野

図2 地下水観測井と地下水の流れ

Fig. 2 Location of groundwater gaging stations and direction of groundwater flow

図3 月平均地下水位の経時変化

Fig. 3 Example of monthly averages of groundwater elevation at gaging stations

部の水収支の特徴と農業用水の関連について述べる。

1) 周桑平野

周桑平野では平野全域を対象とした一斉流量観測による水収支調査と、集中定数型水収支モデルによる水収支構造についての解析が行われた。

平野内での水の流れが比較的安定した晴天日に一斉流量観測を行うことにより、以下のような水収支式によって、地表領域から地下水帯への見かけの涵養量を推定することができる(高瀬, 2000)。

$$G_{\text{down}} - G_{\text{up}} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} - E_t \quad (1)$$

ここで、 G_{down} は地表から地下水帯への涵養量、 G_{up} は地下水帯から地表への湧出量、 Q_{in} は地表流入量、 Q_{out} は地表流出量、 E_t は蒸発散量である。また左辺($G_{\text{down}} - G_{\text{up}}$)は見かけの地下水涵養量を表している。そこで、灌漑期と非灌漑期の晴天日に中山川をはじめ主要な河川が平野部に流入する地点、および平野部から海へ流出するすべての河川・排水路で流量観測を行い、 Q_{in} 、 Q_{out} を求めた。ただし、 Q_{in} については5河川測定値の平均値に背後地全面積を乗じた値とし、 Q_{out} は全観測値の合計とした。一方、蒸発散量は近隣のアメダスデータを用いてペンマン式によって求め

た蒸発散位に0.8を乗じた値とした。

数年間にわたる灌漑期11回、非灌漑期5回の観測結果から、灌漑期の見かけの涵養量は、田植え期や中干し期のように水田での水利用が複雑な日を除けば5～25mm/d(平均で16.8mm/d)、全体でもおよそ7mm/dとなった。これに対して、非灌漑期では全ての観測日で0に近い負の値となった。図4には、灌漑期、非灌漑期における各水収支要素の平均値を示す。このように、灌漑期では地表流入量の約1/3が見かけの涵養量となるのに対して、非灌漑期では流入量のほとんどが海へと流出していることがわかる。これは灌漑期には平野に流入する水の多くが水田に取水されるのに対して、非灌漑期では用水路等を経て直接海へと流出するためであり、灌漑期では河川からの伏流とともに水田からの浸透が地下水涵養に大きな役割を果たしていることを示唆している。

一方、集中定数型水収支モデルによる解析では、地表領域、中間帯領域および地下水帯領域を表すタンクモデルを採用し、降雨、蒸発散、河川流量、道前道後用水、工業・上水・農業用地下水揚水量のデータを入力値とし、地表からの浸透、河川からの伏流、地表流出、地下水流出および地下水帯領域のタンク水深を出力値とする日計算を行った(高瀬, 2000)。そして、地下水帯領域のタンク水深の変化が平野地下水位の変化と等価であるとしてモデルパラメータを最適化したところ、比較的再現性の高い結果を得た。なお、この集中定数型モデルでは平野全域を1領域として扱うので、ここでの地下水位とは、平野内での観測井地下水位の平均値を意味している。このモデルを用いて、周桑平野の水収支構造を検討した結果、年降水量(1370mm)のほぼ倍に相当する2150mmが地下水帯に涵養されており、それは主として中山川からの伏流と地表、とくに水田からの浸透に依ることを明らかにした。また、異常渇水年であった1994年には、面河ダムからの分水が水田の水利用に直接的な役割を果たしただけでなく、地域地下水の安定にも寄与したと判断された。これは、表1に示したように、周桑平野では地下水揚水量とほぼ同量の農業用水が、面河ダムからの分水により供給されているためである。

図4 周桑平野の灌漑期と非灌漑期における一斉水収支観測結果の比較

Fig. 4 Comparison of average water balance in surface region of Shuso plain between irrigation and non-irrigation season

2) 西条平野

西条平野では1996年から1998年にかけて、旧西条市における地下水賦存状況と水収支を解明し、将来的な地下水の需給・保全計画に資することを目的として、民間委託による調査・解析が行われた。その後、2012年には道前平野地下水資源調査が開始された。この調査の過程で、筆者らは周桑平野の水収支解析に用いた集中定数型水収支モデルを改良し、図5のようなモデルを構築した。そして、西条平野における地下水変動の実態を再現するとともに、西条平野の水収支構造を明らかにした(高瀬・徳増, 2019)。

図6にはモデルによる計算地下水位と実測地下水位の比較を示す。なお、ここでも地下水位とは、平野内観測井地下水位の平均値を意味している。このように両者は良く一致し、このモデルが西条平野の水循環の実態を再現していると判断された。そこで、このモデルにより年間水収支を検討したところ、西条平野では年降水量1300mmに対して、上流域(加茂川など)からの河川流入量が14,000mm以上に達し、そのうち5400mmが河川からの伏流によって地下水に涵養され、そのおよそ1/3が生活用水、工業用水、農業用水として揚水利用されていると推算された。そして、このような水循環構造が、西条平野における潤沢な地下水利用を可能にしていると判断した。しかしながら、図に見られるように灌漑期の降雨が少ない時期に、地下水位が急激に低下する。これは、大量の地下水が灌漑水として揚水利用されているためである。表2には愛媛県や西条市などから入手した資料をもとに算定した2009年6月の農業用水の水源別利用量を示す。なお、河川水のうち、ため池水についてはこの期間の資料を得られなかったので、表1に示した河川水に対するため池水の比率を乗じて算定した。このように、平野単位面積当たりの総灌漑用水量はほぼ同じであるが、西条平野の平野単位面積当たりの地下水揚水量は周桑平野の2.3倍、農業用水のほぼ45%が地下水によって供給されており、地下水位に大きな影響を与えたと考えられる。西条平野では、このような地下水位の低下によって沿岸部で一部塩水化を生じているところもあり、地下水利用のあり方が課題となっている。一方、周桑平野では地下水揚水

図5 集中定数型水循環モデルの概要

Fig. 5 Outline of the lumped parametric hydrologic model for Saijo plain

図6 集中定数型水循環モデルによる計算地下水位と実測地下水位の比較

Fig. 6 Comparison of observed and calculated groundwater level by the hydrologic model

表2 灌漑期少雨月(2009年6月)における農業用水の水利用状況

Table 2 Monthly water use in an irrigation season of little rain

平野名 用水種	西条平野 (面積: 26km ²)		周桑平野 (面積: 60km ²)	
	使用水量 (×10 ⁶ m ³ /月)	単位面積 当たり (×10 ⁶ m ³ /月/km ²)	使用水量 (×10 ⁶ m ³ /月)	単位面積 当たり (×10 ⁶ m ³ /月/km ²)
地下水	4.3	0.16	4.0	0.07
河川水 (堰)	4.9	0.19	9.2	0.15
河川水 (ポンプ・ため池)	0.4	0.02	0.2	0.01
国営灌漑水	—	—	4.3	0.07
計	9.6	0.37	17.7	0.3

量とほぼ同量の水が国営灌漑事業によって供給されたため、西条平野に比べて地下水に与える影響は小さかった。

4.3 両平野の水質問題

地下水の保全・管理は、量のみならず質の観点からも議論される必要がある。中野は、市民と研究者が協働した水質マップづくりを通して、流域の水管理に必要な科学的知見の獲得を目的に、2007年から2009年にかけて季節を変えて流域全体の河川水を採取するとともに、2010年2月に図7に示す両平野約1000地点で地下水を採水し、水温をはじめ塩化物イオン、硝酸イオン、重金属元素、安定同位体など多くの水質項目を分析し比較した(中野ほか, 2015)。それぞれの項目の詳細な検討は別の機会とするが、図8には調査の結果得られた塩化物イオンと硝酸イオンの濃度分布を示す。

まず、塩化物イオンについてみると、西条平野では沿岸部および周桑平野との境界部に高濃度の地域が分布している。これら地域では飲用できなくなった井戸も現れており、地下水の塩水化が進んでいる。沿岸部の塩水化は東部より西部のほうが強く、加茂川から伏流した地下水圧の減少がその要因と考えられている。先に述べたように、灌漑期における地下水の過剰揚水によって一時的な地下水位低下が生じており、これが海水侵入をもたらす塩水化を誘発している可能性が高い。なお、この高塩分地下水は西条北断層北部に限られ、断層南部の自噴帯には及んでおらず、断層は地下水利用だけでなく、地下水流動にも大きな役割を果たしていると考えられる。一方、両平野境界部の高塩化物イオン地下水は、沿岸域だけでなく断層を超えて山地域近くまで及んでいる。4.1でも記述したように、この地域では、広く存在する難透水層が主に海成層であることも関係していると考えられる。加茂川や山地河川から伏流した地下水圧の低下とともに、厚い海成難透水層にトラップされていた古海水が拡散することによって、塩化物イオン濃度が上昇した可能性がある。詳細は省くが、この地域の地下水は嫌氣的でマンガンなどの濃度が高く、沿岸域の地下水に見られる塩水化と異なるプロセスが関与していると考え

られる。一方、周桑平野では、大明神川に沿って塩化物イオン濃度の低い地下水が見られ、山地からの河川水が伏流していることがわかる。これに対して中山川沿いの地下水は、背後地面積の割合が大きいにもかかわらず、塩化物イオン濃度が比較的高い。中山川扇状地の扇頂から約1km上流に一般廃棄物処分場があり、その前を流れる小河川は塩化物イオンを始めとして多くの成分の濃度が非常に高く中山川に流入している。中山川の塩化物イオン濃度も処理場付近から高くなっていることから、処分場の水が小河川などを通して中山川下流の地下水に流入していると考えられている(中野, 2010)。

硝酸イオン濃度は、西条平野では平野東部の濃

図7 水質調査のための採水地点

Fig. 7 Locations of groundwater sampling

図8 道前平野の塩化物イオンと硝酸イオン濃度分布

Fig. 8 Distribution maps of chloride and nitrate ion in research area

度がやや高いが、加茂川周辺部は扇状地、沿岸部とも低濃度である。これに対して、周桑平野では西部地域の地下水の硝酸イオン濃度が非常に高いことがわかる。周桑平野では、関屋川をはじめとする果樹・園芸農業に適した水はけの良い扇状地が発達している。肥料に含まれている窒素の多くは、水田では還元されて窒素ガスとなり大気に戻るのに対して、透水性が高く畑地が多く分布する扇状地では硝酸イオンとなって地下に浸透する。このため周桑平野の扇状地では、施肥による硝酸態窒素濃度の高い地下水が広く見られ、その影響は下流の平野部の地下水にも及んでいる。扇状地の一部の地下水では、硝酸態窒素濃度が飲用基準を超えており、生活には低濃度の地下水を水源とする水道水が利用されている。一方、西条平野は畑地が少なく水田が多いことに加えて、水質の良い加茂川が大量に伏流していることもあって、硝酸イオン濃度が低く「うちぬき」に代表される良質な地下水が広く分布している。

農業は、気象条件だけでなく地質や地形などの自然要因に対応して営まれてきたが、地下水の量や質もこれら要因の影響を強く受けている。地下水を利用した農業や生活が持続するためには、水収支を踏まえ水質形成に影響を与える地下での水の動態も含めて、営農のあり方を考える必要があると言えるだろう。

4. まとめと今後の課題

本報告では、愛媛県西条市にあって降水量など気象条件がほとんど同じである2つの平野を対象とし、これまでの調査・解析結果に基づいて水資源、地下水利用、および農業用水と地下水の関係について検討した。その結果、以下のような特性が明らかとなった。

1) 両平野は水資源の大半を地下水に依存している。全水資源の地下水依存率は西条平野で45%、周桑平野で33%、とくに、生活用水はほぼ100%を地下水に依存しており、その保全と管理は市の重要な政策課題となっている。また、農業用水の地下水依存率も高く、西条平野で38%、国営灌漑事業により灌漑用水の一部が流域外から供給される周桑平野にあって依存率は26%である。

2) 西条平野における地下水は扇状地頂部から沿岸部へ放射状に拡がり、扇状地内の地下水位は加茂川の流量に大きく左右されている。平野内の地下水標高範囲は0～7mである。一方、周桑平野の地下水は主に中山川と大明神川および周辺背後地からの流れで形成されており、地下水標高範囲は0～45mである。

3) 周桑平野全域における一斉流量観測結果によれば、灌漑期にはおよそ7mm/dの見かけの地下水涵養が見積もられるのに対して、非灌漑期はほとんど0であった。これは水田からの灌漑用水の浸透が大きな役割を果たしているためと考えられる。また、集中定数型水収支モデルによる解析では、年降水量のほぼ倍に相当する水が地下水を涵養し、これは中山川をはじめとする河川からの伏流と主に水田からの浸透に依ることが推察された。

4) 西条平野では、平野内の水循環を表現した集中定数型水循環モデルにより地下水位の変動および水収支構造の解析が行われた。その結果、当平野では降水量のおよそ3倍の水量が地下水に涵養され、その1/3が各種用水に揚水利用されていると見積もられた。しかし一方で、農業用水の地下水依存度が高いために、少雨の灌漑期には沿岸域での急激な地下水位低下と一部地下水の塩水化が認められた。

5) 周桑平野では周辺部扇状地で果樹栽培のため、硝酸イオン濃度の高い地下水が平野部にまで及んでおり、水質の保全も課題となっている。

以上のように、両平野では平野を取り巻く背後山岳地からの大量の河川流入とそれら河川からの伏流により豊富な地下水利用が可能となっているが、近年では、沿岸部の地下水位低下に伴う塩水化（西条平野）や果樹園地での肥料散布による硝酸態窒素の蓄積（周桑平野）などの問題が顕在化している。農業には水と土が欠かせないが、農業用水に関する西条市での検討は、両者が地下水の量と質の両面で密接に関係していることを示している。市では、科学的な知見が現在や将来の地下水問題の解決に生かされるよう、本稿で述べた水収支や水質の結果に基づいて、地下水保全管理計画を策定している。平成26年に水循環基本法が制定されたが、流域の水循環のなかで地下水の保全

と持続的な利用の両立を目指し、地域公水という概念で、市民、行政、農林水産業および企業、商工関係団体をメンバーとする地下水保全協議会を立ち上げている。こうした新たな理念と仕組みに基づく統合的な水管理に向けて、現在地下水条例の策定が行われている。

謝 辞

本研究の遂行に際し、愛媛県土木部河川課、道前平野土地改良区、西条市環境部環境課から上水道用水、工業用水、農業用水に関わる多くのデータを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 岩崎有美・尾崎正志・中村公人・堀野治彦・川島茂人 (2013)：定常地下水流動解析に基づく手取川扇状地における灌漑期の地下水位に影響を与える要因の評価. 水文・水資源学会誌, 26 (2), 99-113.
- 国土交通省水管理・国土保全局水資源部 (2018)：平成30年版日本の水資源の現況. 4p.
- 中野孝教 (2010)：西条の水から地球環境を診る. 総合地球環境学研究所編, 未来へつなぐ人と水—西条からの発信—, 創風社, 38-65.
- 中野孝教・齊藤 有・申 基澈・佐々木和乙・徳増 実 (2015)：水循環を守り、水を育てる条例策定に向け
- た西条市と地球研の水質協働研究. RIVERFRONT, v.18, 24-27.
- 農林水産省農村振興局農村環境課 (2011)：農業用地下水の利用実態 —第5回農業用地下水利用実態調査の概要—. 1-16.
- 西条市 (2020)：水の歴史館. <https://www.city.saijo.ehime.jp/site/mizunorekishikan/lineup3-8-1~3-8-3.html> (2020.6.11閲覧)
- 西条市・愛媛県土地改良事業団体連合会 (2010)：西条市農業用水の実態調査および需給計画作成業務報告書 (CD版)
- 西条市環境課 (2018a)：西条市地下水年報2018版. 47p.
- 西条市環境課 (2018b)：西条市地下水年報2018版. 30p.
- 高瀬恵次 (2000)：瀬戸内沿岸平野部の水循環と水収支. 農業土木学会誌, 68 (2), 173-179.
- 高瀬恵次・徳増 実 (2019)：集中定数型水循環モデルによる沿岸平野部地下水の水収支解析. 農業農村工学会論文集, 87 (2), 219-226.
- 手計太一 (2010)：黒部川扇状地における地下水位の漸減現象に関する基礎的研究. 水工学論文集, 54, 565-570.
- 徳増 実・山田佳裕・高瀬恵次・中野孝教 (2019)：長期観測結果からみた愛媛県西条平野の断層が地下水位に及ぼす影響について. 地下水学会誌, 61 (3), 183-196.
- (受付：2020年7月9日, 受理：2020年12月14日)