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

FUNDAMENTAL STUDY ON GRADUAL DECREASE IN GROUNDWATER LEVELS OVER THE KUROBE ALLUVIAL FAN

手計太一[1]
Taichi TEBAKARI

[1]正会員　博(工)　富山県立大学講師　工学部環境工学科（〒939-0398 富山県射水市黒河5180）

Trends in the decrease of groundwater level were observed in the Kurobe River basin during 1997-2008. In this paper, using groundwater level data at observation wells these annual and seasonal trends were statistically clarified by the Kendall rank correlation test. Moreover, relationships between precipitation, snow depth, land use, river discharge and groundwater levels were investigated using the correlation coefficient.

As a result of statistical analysis, groundwater levels at 9 observation wells have been gradually decreasing at significant level 5%. 2 wells' groundwater levels have been decreasing significantly at the 1% level. Between river water level at the Aimoto W.L. station and groundwater level of observation wells near the river had the strong correlations. Precipitation and snow depth did not show any significant annual/seasonal trend over the Kurobe river basin.

Key Words : *groundwater level, Kendall rank correlation, correlation analysis, Kurobe river basin*

１．はじめに

富山県は三方を急峻な山岳地域に囲まれ，また年平均降水量が約2500mmと非常に多いため，多くの急流河川を持ち，活発な侵食作用による広大な扇状地を形成している．扇状地は一般に粗粒堆積物で構成されており，とても良好な地下水貯留タンクとなっている．

このような自然環境の特徴を活かし，富山県では古くから盛んに地下水が利用されてきた．しかし，昭和56年の豪雪以降，消雪用水施設が急激に普及し，冬期における顕著な地下水位低下がみられるようになった[1]．特に，高岡市能町，射水市寺塚原，富山市奥田北，富山市下飯野，黒部市三日市等の市街地において，冬期間における消雪用水の地下水採取による顕著な地下水位の低下が観測されている[2]．

また，黒部川扇状地に位置する黒部市生地地区における自噴井の減少が懸念されている．自噴井は一旦設置すると間断なく地下水が湧き出し続けるため，実際の使用量は自噴量の1%程度だと推定されている．

このように，地下水量に関するいくつかの問題が顕在化しており，統計的有意性は不明ながら全県規模で地下水位の漸減が認められる[3]．

富山県内の地下水研究においては特に，黒部川扇状地を対象とした地下水研究は古くから多くの成果が報告されている．例えば，黒部川の河川水が地下水を涵養していることを明らかにし，黒部川の流下に伴う失水量は一日約121万m^3と推定している[4]．他にも様々なアプローチによって黒部川扇状地の地下水に関する研究がされている．その多くは黒部川扇状地における地下水の流動[5),6),7),8)]や水質[9)]を明らかにするものである．最近では地下水流動解明に同位体を用いた研究がされている[10)]．さらに，黒部川扇状地において1977年から1990年までの地下水位の季節変化や経年変化を捉えた研究がされている[11)]．しかしながら，特に近年の地下水の経年変化傾向や季節変化，さらにその要因を明らかにした既往研究はない．

以上を鑑み，本稿では黒部川流域における最近12年間の地下水位の経年傾向を統計学的に明らかにし，その要因の基礎的な検討を行った．

２．黒部川流域と黒部川扇状地

(1) 黒部川流域

図-1は本研究対象である黒部川水系と流域界である．本稿では黒部川扇状地も黒部川流域内として流域界を描

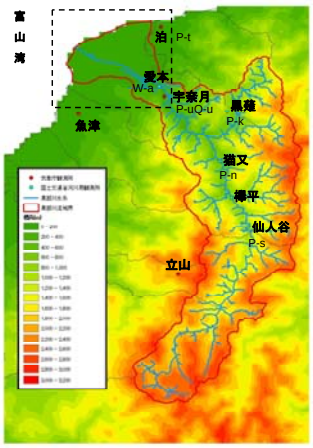

図-1　黒部川水系と流域界.

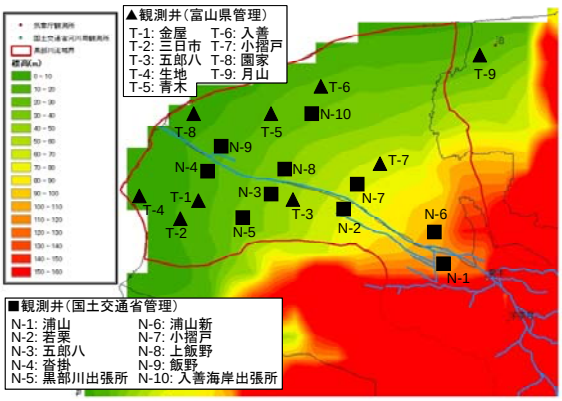

図-2　黒部川扇状地に位置する観測井.

表-1　富山県が管理する観測井33観測所（34観測水位）の一覧.

黒部川流域				
観測所	Code	管理者	水文量	統計年
仙人谷	P-s	国交省	降水量	1955-2008
猫又	P-n	国交省	降水量	2002-2008
黒薙	P-k	国交省	降水量	2002-2008
泊	P-t	気象庁	降水量	1978-2008
宇奈月	P-u	気象庁	降水量	1984-2008
宇奈月	Q-u	国交省	流出量	1971-2007
愛本	W-a	国交省	河川水位	1993-2007
金屋	T-1	富山県	地下水位	1986-2008
三日市	T-2	富山県	地下水位	1986-2008
五郎八	T-3	富山県	地下水位	1986-2008
生地	T-4	富山県	地下水位	1986-2008
青木	T-5	富山県	地下水位	1986-2008
入膳	T-6	富山県	地下水位	1986-2008
小摺戸	T-7	富山県	地下水位	1986-2008
園家	T-8	富山県	地下水位	1986-2008
月山	T-9	富山県	地下水位	1986-2008
浦山	N-1	国交省	地下水位	2004-2008
若栗	N-2	国交省	地下水位	2004-2008
五郎八	N-3	国交省	地下水位	2004-2008
沓掛	N-4	国交省	地下水位	2004-2008
黒部川出張所	N-5	国交省	地下水位	2004-2008
浦山新	N-6	国交省	地下水位	2004-2008
小摺戸	N-7	国交省	地下水位	2004-2008
上飯野	N-8	国交省	地下水位	2004-2008
飯野	N-9	国交省	地下水位	2004-2008
入善海岸出張所	N-10	国交省	地下水位	2004-2008

いている．黒部川は北アルプスのほぼ中央に位置する鷲羽岳を源とし，3000m級の山々が連なる立山連峰と後立山連峰を流域にもつため，平均河床勾配が1/5～1/119という我が国屈指の急流河川の一つである．深い峡谷を流下し，黒部ダム，仙人ダム，小屋平ダムを経て宇奈月町に達する．宇奈月から下流の川幅は広くなり，大きく蛇行しながら愛本にいたる．愛本には1932年に建設された合口頭首工があり，両岸に広がる扇状地に向けて灌漑用水が取水されている．右岸に7用水，左岸に6用水を合口し，最大取水量は75.4m^3/sである[12]．

黒部川は宇奈月町愛本で山間地から平野部に抜け，そこから黒部市，入善町にかけて黒部川扇状地と呼ばれる美しい扇状地を形成している．この大扇状地を抜けると富山湾にいたる．

黒部川の幹川流路延長は85km，そのうち83.5%を占める71kmは山地を流れ，残り14kmは平地を流下している．流域面積は682km^2，そのうち97.1%は山地である．

黒部川流域は全国有数の多雨多雪地域であり，流域の年平均降水量が非常に多く，平野部にある黒部市では約2300mm，中流部にあたる宇奈月では約3500mm，上流部にある仙人谷観測所では約4000mmの降水量がある．

(2) 黒部川扇状地

黒部川の扇状地平野は，黒部川が山地から平野に出る愛本付近を扇頂とし，その扇頂部から海岸までは比高が130m，10度程度の傾斜を持つ典型的な扇状地であり，その大部分は扇状地性の礫から構成されている[1]．

扇状地は山間部から抜け出た河川が河床の傾斜が緩やかになることによって，流れも緩やかになり，土砂が堆積して形成された地形である．黒部川の扇状地は上流の花崗岩地帯から流出してきた透水性の良い土砂を含むため，黒部川の水が伏流水となって地下水を涵養している．したがって，この扇状地では黒部川の伏流水を水源とした湧水がいたるところで湧き出ている．

黒部平野の地形は，扇状地東側の愛本新から金山にかけて旧扇状地からなる砂礫台地が分布し，その西端では崖を形成し新扇状地と接しており，この台地の東側には小川流域の平野がある[13]．一方，扇状地の南側には下立から浦山にかかる部分と前沢周辺とに砂礫からなる洪積台地が分布しており，その背後にはかなり開析の進んだ高位の砂礫からなる洪積台地がある．

3．解析対象データと解析手法

(1) 解析データ

富山県では最も古くは昭和34年から地下水位の観測を実施している．現在では，33観測所(34水位)について観測を継続している．先述したように，条例で定めたれた高岡地域は11観測所，富山地域は7観測所，条例外の地域である氷見地域は2箇所，魚津・滑川地域は4箇所，黒部地域は9箇所の観測井がある．なお，観測井は主に河川中流域から平野部にかけて設置されている．

図-2は黒部川扇状地に位置する観測井を示し，また，**表-1**は本研究で利用した水文データの一覧を示す．本稿では観測所名を**表-1**中のコードで表記する．国土交通省が管理する観測井は10箇所，富山県が管理する観測井は9箇所である．本研究では合計19箇所の観測井の地下水位データを利用した．国土交通省が管理する観測井データについては，黒部河川事務所がインターネットで公開している日平均値の速報値を使用した[14]．富山県が管理する観測井データについても同様に日平均値を使用した．

さらに，日降水量は，仙人谷，猫又，黒薙，泊，宇奈月の5箇所，河川流量と河川水位については宇奈月観測所と愛本観測所のデータを使用した．なお，流域内の平野部に降水量観測所がないため，AMeDASの泊観測所のデータを利用した．

(2) 解析手法

水文データの経年変化傾向を捉えるために，ノンパラメトリック検定の一つであるケンドールの順位相関を利

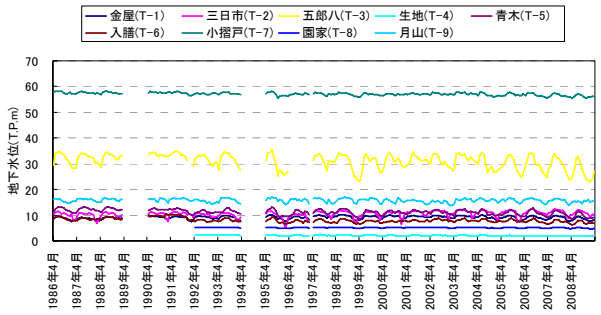

図-3　富山県が管理する観測井における月平均地下水位の経年変化.

用した．本手法は，n個の対になったデータのそれぞれに順位を付け，2つの順位の相関の強さを評価することによってトレンドの存在を調べる方法である[15]．母集団分布にかかわらず，また完全な量でない測定値に対しても適用可能である．さらに，小標本に対しても適用できる特長を持つ.

4．黒部川流域における地下水位の変化

本章では，黒部川流域における地下水位の経年変化，季節変化，またそれらの変化要因について詳述する．なお，使用データについては第3章で既述した通りである.

(1) 地下水位の経年変化・季節変化

図-3は黒部川流域において富山県によって地下水位データのデジタル化が整備されている1986年から2008年までの月平均地下水位の経年変化を示している．全体的に極端に経年的な増減傾向は見られないものの，横ばいもしくは漸減しているように読み取れる.

そこでケンドールの順位相関を用いて月平均地下水位のトレンド検定を行った．その結果，T-3，T-4，T-5，T-6，T-7，T-8，T-9の7観測水位については，有意水準1%以下で有意に減少傾向である．一方，T-2の地下水位の経年傾向は有意水準1%以下で有意に増加していることがわかった．なお，T-1については，有意性のある増減傾向は得られなかった.

図-4a, b, cはそれぞれT-3，T-4，T-2における2004年度から2008年年度までの各年の日平均地下水位の時系列を示している．T-3の季節変化は，4月から6月にかけて地下水位は上昇し，7月から8月にピークを迎え，その後12月から1月にかけて低下し，2月から3月にかけて再び小さいピークを迎える．このような季節変化については，1970年代の地下水変化傾向[16]と非常に良く酷似している．しかしこの中[16]では，6月から8月にかけて台形状を呈したハイドログラフであったと報告されているが，本結果では台形状ではなく，7月から8月にかけて凸のピークが鋭くなっている．また，地下水位の変化は合口用水の引用水量の変化と良く対応していると報告されており[16]，

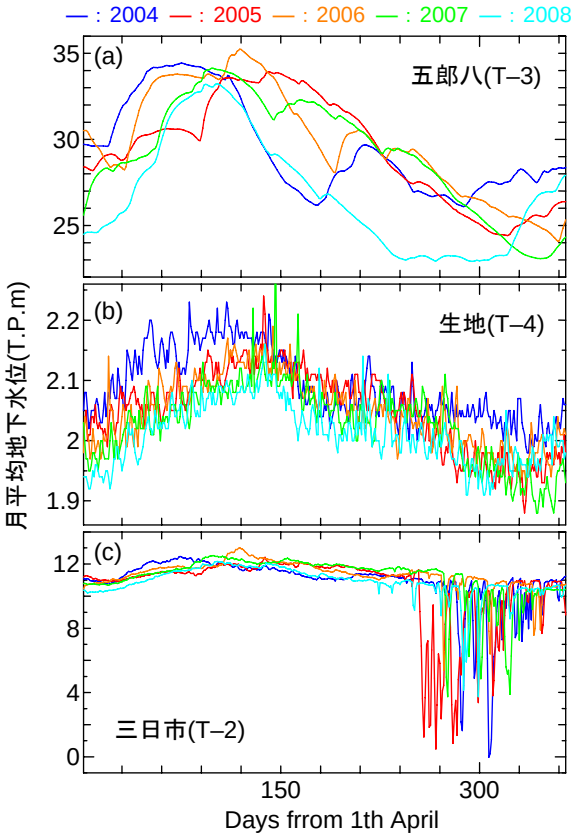

図-4　(a) 五郎八 (T-3)，(b) 生地 (T-4)，(c) 三日市 (T-2) における2004年度から2008年度までの各年の日平均地下水位の時系列.

T-3の観測井は黒部川の近傍に位置しているため，河川流量の影響を強く受けているものと考えられる.

次に，T-4の地下水位の季節変化は，T-3の季節変化と似ており，3月下旬から地下水位は上昇し始め7月下旬から8月上旬にピークを迎える．特徴的なのは，平均1～2cm程度の微小な日変化がある．生地地域は自噴井が多く在り，生活用水として多用されている．最近では余剰水の有効利用や節水対策が推進されているため，微小な日変化が観測されているものと推察される.

最後に，T-2の地下水位の季節変化を図-4cに示す．全体的な傾向は，前述した2つの観測井と同様であるが，12月から3月にかけての著しい地下水位の低下が特徴的である．2009年1月には一日で最大6.7mの地下水位低下が観測されている．このような12月から3月にかけて急激に地下水位が低下する原因は，消雪用の地下水揚水である．例えば，各年12月1日を基準にして，12月から3月までの間の地下水位最大低下量を算出すると，2004年度と2005年度には約11m，2006年度は約6m，2007年度は8m，2008年度は7mであった．2005年の2月と12月は非常に多雪であったため，消雪用水が大量に必要であり，上述のような顕著な地下水位低下に繋がったものと考えられる．また，T-2の観測井はJR黒部駅に近く，市街地が広がっているため，道路への消雪用水のみならず，大規模民間施設の駐車場等にも消雪用水として地下水が利用されているため，他の観測井と比較すると顕著に地下水

表-2　黒部川流域内で観測されている降水量，流出量，地下水位に関するトレンド検定の結果.

観測所	Code	管理者	水文量	統計年	年	月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
仙人谷	P-s	国交省	降水量	1955-2008	－	-5%	－	－	＋	－	－	－	－	－	－	－	＋	＋
猫又	P-n	国交省	降水量	2002-2008	－	－	-10%	＋	－	－	－	－	＋	－	＋	－	－	＋
黒薙	P-k	国交省	降水量	2002-2008	－	－	－	-10%	＋	－	－	＋	－	＋	－	－	－	－
泊	P-t	気象庁	降水量	1978-2008	＋	＋	－	－	+1%	＋	＋	－	－	＋	－	－	＋	5%
宇奈月	P-u	気象庁	降水量	1984-2008	－	－	－	－	＋	＋	－	－	－	＋	－	－	－	＋
宇奈月	Q-u	国交省	流出量	1971-2007	-1%	-1%	－	－	－	-1%	-1%	-1%	-10%	-5%	－	－	－	－
愛本	W-a	国交省	流出量	1993-2007	-1%	-1%	－	－	－	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	－	－	－	-10%
金屋	T-1	富山県	地下水位	1997-2008	-1%	-1%	-10%	－	-5%	-5%	-5%	-5%	-1%	－	－	-10%	-5%	-10%
三日市	T-2	富山県	地下水位	1997-2008	+10%	+10%	＋	＋	－	－	－	＋	+1%	+1%	5%	+10%	＋	＋
五郎八	T-3	富山県	地下水位	1997-2008	-5%	-1%	-10%	-10%	－	－	－	－	－	－	－	－	－	-5%
生地	T-4	富山県	地下水位	1997-2008	-1%	-1%	-1%	-5%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
青木	T-5	富山県	地下水位	1997-2008	-5%	-1%	－	-10%	-10%	-5%	-5%	－	-10%	－	－	-10%	-10%	-10%
入膳	T-6	富山県	地下水位	1997-2008	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
小摺戸	T-7	富山県	地下水位	1997-2008	-5%	-1%	－	－	－	-1%	－	－	－	－	－	-10%	-10%	-10%
園家	T-8	富山県	地下水位	1997-2008	-5%	-1%	-5%	-5%	-10%	-5%	-5%	-10%	-5%	-10%	-5%	-5%	-5%	-10%
月山	T-9	富山県	地下水位	1997-2008	－	-5%	－	－	－	－	-10%	-5%	－	－	－	＋	－	－
浦山	N-1	国交省	地下水位	2004-2008	－	-1%	-5%	-5%	－	－	-10%	－	－	－	－	-5%	－	－
若栗	N-2	国交省	地下水位	2004-2008	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	＋	－	－	－
五郎八	N-3	国交省	地下水位	2004-2008	-5%	-5%	－	-5%	-5%	-5%	-5%	－	－	－	＋	－	－	－
沓掛	N-4	国交省	地下水位	2004-2008	－	-5%	－	-5%	-5%	-5%	-5%	－	－	－	＋	－	－	－
黒部川出張所	N-5	国交省	地下水位	2004-2008	－	-10%	－	-10%	-5%	-5%	-10%	－	－	－	－	－	－	－
浦山新	N-6	国交省	地下水位	2004-2008	-5%	-1%	－	－	-5%	-5%	-5%	-5%	－	－	－	-5%	-5%	-5%
小摺戸	N-7	国交省	地下水位	2004-2008	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	＋	－	－	－
上飯野	N-8	国交省	地下水位	2004-2008	-5%	-1%	－	-5%	－	-5%	-5%	－	－	－	－	－	－	－
飯野	N-9	国交省	地下水位	2004-2008	-5%	-5%	－	-5%	-5%	-5%	-5%	－	－	－	＋	－	－	－
入善海岸出張所	N-10	国交省	地下水位	2004-2008	-5%	-1%	－	-5%	-5%	-5%	-10%	－	－	－	-10%	－	－	－

※表中の「－」は負のトレンド，「＋」は正のトレンドを示し，数字は有意水準を表している.

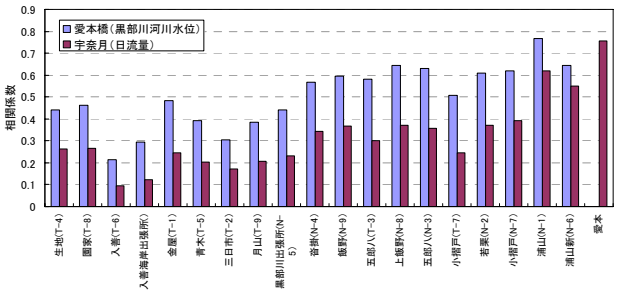

図-5　各観測井の地下水位と黒部川の水位・流量との相関係数.

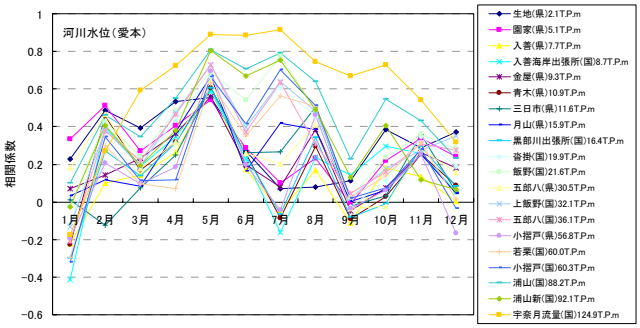

図-6　各観測井の地下水位と黒部川水位の相関係数の季節変化.

位が低下し易いと考えられる．同様の傾向は，T-2の観測井の近くに位置するN-5においても観測されている．

表-2は黒部川流域内で観測されている降水量(5観測所)，流出量(2観測所)，地下水位(19観測所)に関してそれぞれ経年傾向と各月の経年傾向のトレンド検定をした結果である．ここでも先述と同様にケンドールの順位相関を利用して検定を行った．有意性の有無にかかわらず増加傾向については青色，減少傾向については赤色で示した．降水量について増減ともに統計的に有意な結果が得られたのは5つの検討項目である．その中で，P-sの月降水量は有意水準5%で有意に減少傾向であり，有意性はないもののP-nやP-k，P-uにおいても減少傾向である．これらのことは，黒部川上流域における降水量が全体的に減少傾向であることを示唆している．一方，平野部を代表する泊観測所では通年で増加傾向が認められる．3月や12月の月降水量の経年変化は統計的有意性(それぞれ有意水準1%，5%)を持ち合わせている．

宇奈月や愛本における流出量の経年変化はいずれも有意水準1%という高い有意性の減少傾向が認められる．4月から8月にかけての月流量は特に高い有意性の減少傾向であることがわかる．これは，出し平ダムや愛本頭首工における取水等による影響が強く反映されているものと考えられる．

月平均地下水位の経年変化は，先述した通りT-2における増加傾向以外，他18観測井について全て減少傾向であり，N-2，N-7，T-6以外は高い有意性がある．各月平均地下水位の経年変化は，T-9，N-2，N-3，N-4，N-7，N-9における9月や10月の増加傾向以外は全て減少傾向である．特に，2月から5月にかけての月平均地下水位が全体的に有意性の高い減少傾向である．なお，増加傾向を示す6観測井について，地理的分布に特徴はなく，その要因について，本稿では明らかにできなかった．

前述したように，黒部川流域では河川水が地下水涵養に強く影響していることから[4),16)]，黒部川扇状地における地下水位の減少傾向は，宇奈月や愛本における河川流量の減少に起因していると考えられる．

(2) 地下水位と河川水位・河川流量との関係

図-5は観測井における日平均地下水位と黒部川の日平均水位、日流量との相関係数をまとめたものである．解

析対象期間は，国管理の観測井については2004年1月1日～2008年12月31日，富山県管理の観測井については2004年4月1日～2009年3月31日である．図中左から右にかけて，4月から11月の平均地下水位が低い順に並べ，さらに右端には愛本における河川水位と宇奈月における河川流量の相関係数を示している．4月から11月の平均地下水位を使用した理由は，先述したような冬期における人工的な水位変動の影響を除くためである．まず，愛本と宇奈月の相関係数は0.76とそれほど高くない理由は，両者の間に愛本堰堤があり，農業用水が取水されているためである．全体的な傾向は，いずれの観測井ともに宇奈月の河川流量よりも愛本の河川水位との相関性が高い．これは先に述べたように愛本堰堤の影響であることが推察できる．次に，平均水位が高い観測井の方が全体的に地下水位と河川水位・流量との相関性が高い．また，河道近傍に設置されているN-1，N-2，N-3，N-6，N-7，N-8，N-9の7箇所の相関係数は0.6前後と高い値を示している．

次に，地下水位と河川水位の相関係数の季節変化を**図-6**に示す．なお，凡例内の数値は各観測井における4月から12月までの平均地下水位を示している．まず，明瞭に全観測井が高い相関性を示しているのは5月である．5月は代掻き用水として一年で最も灌漑用水が利用されるため，河川水位と地下水位の相関性は高くなると考えられる．次いで，6月や7月も農業用水の取水量は多い．そのため，バラつきはあるものの6月も相関係数が高い．7月は相関係数が高いグループと低いグループに分かれる．凡例内の数値と見比べると，相関係数が高いグループの平均地下水位は高いことがわかる．平均地下水位が高い観測井は，河川と連動して水位変動している．10月から3月は非灌漑期のため河川流量も少なく，地下水位との相関性は低い．

(3) 地下水位と降水量・積雪深の関係

地下水位と降水量の関係については，いくつかの既往研究がある[17]．

本対象流域においても，上流域4箇所，平野部1箇所の日降水量と日平均地下水位との関係について検討を行った．解析対象期間は前項と同様である．いずれの観測所においても両者の相関係数は-0.31～0.27と非常に低い値であった．月平均値を用いた解析においても，-0.31～0.47と相関性は低い結果が得られた．また，地下水位の上昇高や低下高と降水量との比較を行ったが，同様に相関性は認められなかった．これらの要因の一つとして，観測井と降水量観測所の距離が離れているために，局地的な降水現象を捉えられていない可能性が挙げられる．

一方，積雪深と地下水位の関係について相関係数を用いて検討を行った．その結果を**図-7a, b, c**に示す．a, b, cはそれぞれ，欅平(上流域)，宇奈月ダム(中流域)，泊(下流域)の観測所における積雪深を利用した結果である．T-1，T-2，T-9，N-5の地下水位と各積雪深との関係は強い負の関係が認められる．いずれの観測井について，負

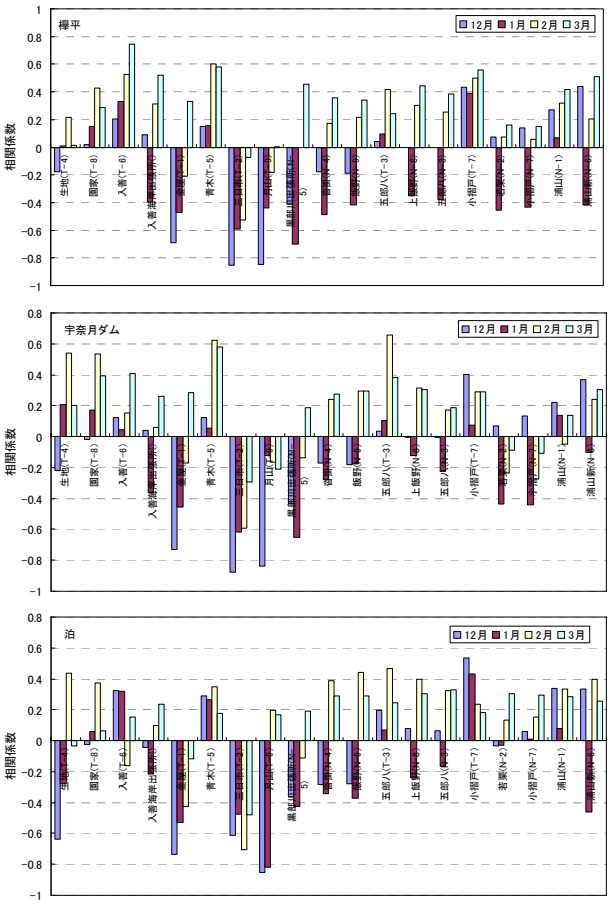

図-7　各観測井の地下水位と(a)欅平，(b)宇奈月ダム，(c)泊における積雪深との相関係数.

の相関係数が得られている月は，消雪用水と思われる顕著な地下水位低下が認められる．その一例として，**図-8**に2004年度のT-2の地下水位と泊観測所の日最深積雪深の時系列を示す．

逆に，全ての積雪深観測所と正の相関のある観測井は，T-3，T-5，T-6，T-7の4箇所である．相関係数は低いものの，12月～3月までの冬季を通じて正の相関が得られている．しかしながら，本稿ではその要因を明らかにすることはできなかった．

(4) 地下水位と土地利用の関係

土地利用と地下水の関係については，特に水田面積と地下水位の関係についての既往研究が多い．例えば，両筑平野における地下水位低下傾向が水田の減少や比高が高い地域での建物用地の増加に因る可能性を示唆している[18]．また，農作物を変えたことで地下水涵養量が増加した例もある[19]．

本研究においても，黒部川流域の土地利用と地下水位の関係について検討を行った．本稿では，黒部市（旧黒部市，旧宇奈月町）と入善町の土地利用データを利用した．水田，畑，宅地，山林，原野，雑種地に分類し，それぞれの割合について1997年から2008年までの経年変化を**図-9**示す．この図からわかるように，対象とした12年間に土地利用は微小な変化しかしていない．水田は

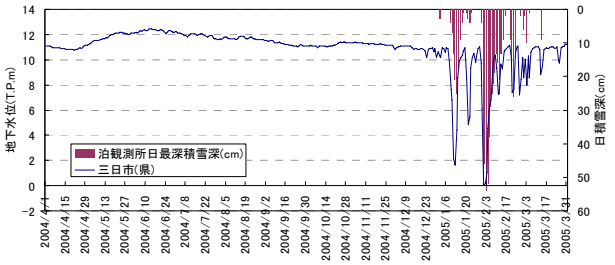

図-8　2004年度の三日市(T-2)の地下水位と泊観測所の日最深積雪深の時系列.

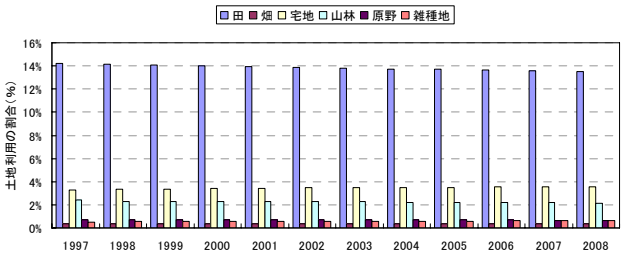

図-9　1997年から2008年までの黒部川流域の土地利用の経年変化.

4.8%の減少，畑は7.5%の減少，宅地は8.8%の増加，山林は10.5%の減少である．このように，地下水位の漸減現象と土地利用の変化には定性的な対応は認められるものの，相互の統計的相関性は認められない．一方で，黒部川流域における土地開発はそのほとんどが黒部川扇状地で行われている．扇状地における水田面積は約56%を占めており，水田面積の経年変化は地下水位に大きな影響を及ぼしている可能性がある．

５．結論

本研究によって，黒部川扇状地における観測井の地下水位が統計的に極めて有意に漸減していることを明らかにした．また，降水量や積雪深の有意な増減傾向は認められなかったにもかかわらず，地下水位は季節によらず極めて有意に減少していることが明らかになった．

黒部川愛本地点における河川水位と地下水位の関係において，相関性が高い観測井と相関性が低い観測井を明らかにした．過去の既往研究[4]においても，黒部川が地下水涵養に大きな影響を及ぼしていることを指摘しており，最近の状況も同様の傾向であると考えられる．

また，微小な変化ながらも水田面積や畑地面積は減少，宅地面積は増加している．扇状地に占める水田面積の割合は大きいことから，水田面積の変化が地下水位の漸減現象の要因の一つである可能性があるため，今後詳細な検討が必要である．

最後に，国土交通省の地下水位データは5年分という短い期間のデータを利用しており，本研究結果が長期に亘る経年傾向であるか否かは不確実である．今後，データの蓄積や掘り起こしを行い，長期の経年傾向について検証する必要がある．

謝辞：本研究の遂行に際し，富山県生活環境文化部環境保全課と富山県環境科学センターから地下水位データを提供していただいた．また，本稿作成に際し，福岡大学工学部の林義晃氏と苅田町役場の岡田千恵美さんの協力を得た．合わせてここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 富山県: 富山県地下水適正揚水量調査報告書，1990.
2) 富山県: 地下水の現況，2007.
3) 富山県: 富山県地下水指針，2006.
4) 樋根勇: 実例による新しい地下水調査法，山海堂，1991.
5) 吉田義信: 富山県3大扇状地の地下水，地理学評論，17, pp.989-1002, 1941.
6) 山本荘毅，樋根勇: 黒部川扇状地における水の循環，古今書院，1971.
7) 深井三郎: 黒部川扇状地研究，古今書院，1986.
8) 徳永朋祥，中田智浩，茂木勝郎，渡辺正晴，嶋田純，張勁，蒲生俊敬，谷口真人，浅井和見，三枝博光: 沿岸海底から湧出する淡水性地下水の探査および陸域地下水との関連に関する検討: 黒部川扇状地沖合での例，地下水学会誌，45(2), pp.133-144, 2003.
9) 高倉盛安: 黒部市内地下水の化学調査，富山県理化学会誌，5(1), pp.23-28, 1962.
10) 後藤純治，嶋田純，松井喜治: 黒部川扇状地の地下水流動に関する同位体水文学的研究，地球惑星科学関連学会2002年合同大会予稿集，H055-001, 2002.
11) 島野安雄，辻村真貴，嶋田純，樋根勇，堀内清司: 黒部川扇状地における地下水の水文学的研究，文星紀要，4, pp.17-52, 1992.
12) 富山県立大学工学部環境工学科編: 新富山の水環境，(有)TC出版プロジェクト，2009.
13) 藤井昭二: 黒部川扇状地の形成と富山湾周辺部の埋没林について，地球科学，78, pp.11-20, 1965.
14) 国土交通省黒部川河川事務所: http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/chikasui/index.html.
15) Kendall, M.G.: Rank correlation methods, 4/e, Charles Griffin, 1970.
16) 丸山響: 黒部川扇状地における地下水涵養源としての河川水の役割，日本水文科学会誌，36(1), pp.23-36, 2006.
17) 駒村正治，増野途斗，成岡市: 地下水位変動と地下水涵養機構―東京都世田谷区大場代官山屋敷の例―，水文・水資源学会誌，16(6), pp.631-639, 2003.
18) 天方匡純，川崎将生，冨沢洋介: 両筑平野における地下水動向把握のための調査研究，土木技術資料，47(11), pp.40-43, 2005.
19) Zhang, Y.K. and Schilling, K.E.: Increasing streamfloe and baseflow in Mississippi river scince the 1940s: effect of land use change, Journal of hydrology, 324, pp.412-422, 2006.

（2009. 9. 30受付）