

地下水・湧水中のラドン濃度の季節変化

堀内 公子*・小林 正雄**

要 約

起源の違う地下水（琵琶湖湖底漏出水、湖岸湧水、地すべり地帯地下水）中のラドン濃度の経年変化をまとめた。その中で、不圧地下水帯ではラドン濃度は季節変動を示したが、被圧地下水帯では季節変動は見られなかった。また同じ不圧地下水帯である琵琶湖の湖底漏出水は冬高夏低型を示したが、大阪の地すべり地帯の地下水は夏高冬低型を示した。前者は湖岸湧水と関係しており、湖岸湧水も冬高夏低型を示している。

ラドン濃度の季節変動については地質・地形・滞留時間・水質等を含めて検討が必要とされる。

1. はじめに

地質・地形環境が地下水・湧水の化学成分に反映することは十分予想されることで、地下水・湧水の水質は地質的な情報を提供してくれる可能性がある。しかし地下水・湧水の流出過程や水循環特性を把握するには長期間の調査・研究が必要である。

本報告では地下水・湧水中のラドン濃度の経年変化を観測した結果、地質条件や流出過程の差違によるラドン濃度変動の違いについてまとめた。

2. 調査地域の地形・地質の概要

2.1 調査地域Ⅰ：滋賀県志賀町和途浜（St.4）、松の浦浜（St.5）（図1）

調査地域は琵琶湖の西岸に位置し、全般に基盤が花崗岩で構成されている比良山地を後背地にもち、湖岸には比良山系の雪解け水を伏流水とする

湧水が多く存在する。

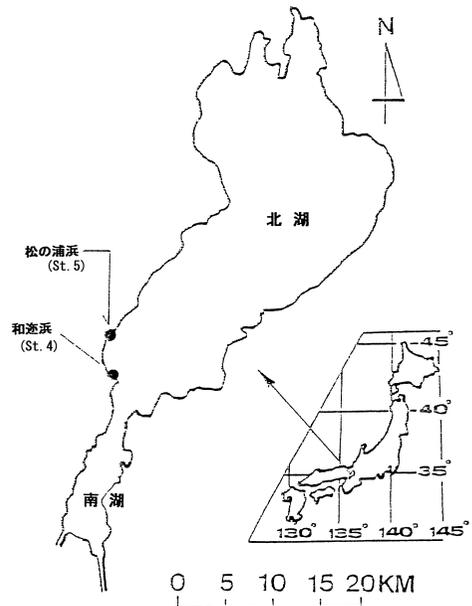


図1 調査地域Ⅰ

琵琶湖は古くから関西地方の上水道・灌漑等の水源であり、地域の水甕としての役割を果たしているが、常に保たれている水位からみて湖底からの漏出地下水の存在が予想されていた。琵琶湖湖底漏出地下水を確認するために漏出地下水捕集装置（シーページメーター）が全湖岸に設置された¹⁾。その34調査地点のうち、全湖岸中選ばれた調査地点として湖西岸地域でもっとも漏水量の多い和辻浜（St.4）と松の浦浜（St.5）で長期の定点観測が行われた。調査の結果この地域は沖積層地域で、St.4は砂・細砂・シルト質が多く、St.5は砂礫質の粗い土質で地形勾配が急であり、こうした地質・地形が漏出地下水量を多くせしめていることが分かった。水質調査の一環としてラドン含有量も測定したが、一連の調査の結果湖岸の湧水と同質の地下水が湖底から漏出していることが認められた^{2,3)}。

として、その上位の大阪層群中に賦存している。安山岩類中の地下水は、風化帯に近い所が最も透水性が良く、 10^{-3}cm/sec のオーダーである。大阪層群中の地下水は降水影響による地下水変動が3～6mと大きい。安山岩類中の地下水はそれが0.2～1.1mと小さく、降水時より約1週間遅れて変動する。全体的になだらかな斜面で、雨量観測地点近くでは約1mの段差がある。この部分から北西方向に地すべりが起こった。このため

2.2 調査流域Ⅱ：大阪と奈良の県境、金剛山地と生駒山地の境の寺山の裾野（図2）

大和川の南側に広がる丘陵地の一角の地すべり地域の一部である。この地域の地下水について過去の井戸調査や、既存資料から次のように推測されている⁴⁾。地下水は安山岩類風化帯を難透水層

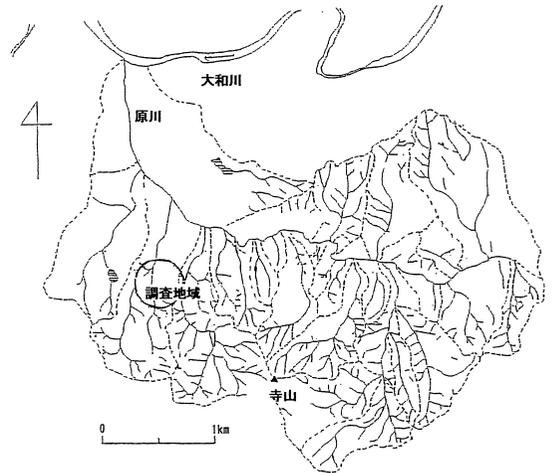


図2 調査地域Ⅱ

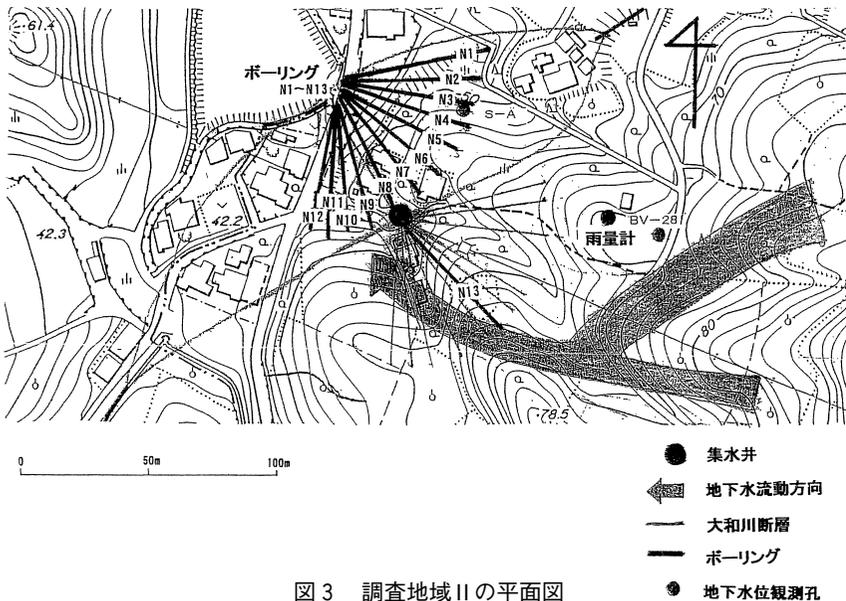


図3 調査地域Ⅱの平面図

地すべり対策として横排水ボーリングを流域最下部の小松川の側面から放射状に貫入し、北（川の下流側）から順にN1、2、3... 13 地点としている。その内、明らかに排出が確認されたN1、6、7、8、9、13の地点から本報告では不圧地下水帯を集水域とするN6と被圧地下水帯を集水域としているN7を取り上げた（図3）。

3. 結果及び考察

3.1 調査地域 I

調査地域 I の測定結果は図4に示した。

図4には琵琶湖の水位（建設省鳥井川自記水位記録午前6時値）・漏出速度（シーページフラックス）、雨量（彦根気象台北小松雨量観測所）ラドン濃度等の季節変化を示したものである。なお、漏出量を便宜上漏出速度で示したが、この値は積算漏出量に比例する。

結果は、和辻浜・松の浦浜ともに漏出量が相当大きく変動する時期があるが、全体に、12月から3月の間に最高値が、また、6月から8月の期間中に最低値が現われる、明瞭な季節変化を示している。そして、漏出量が最高（又は、最低）となる時期は、湖水位が高水位（又は・低水位）の時

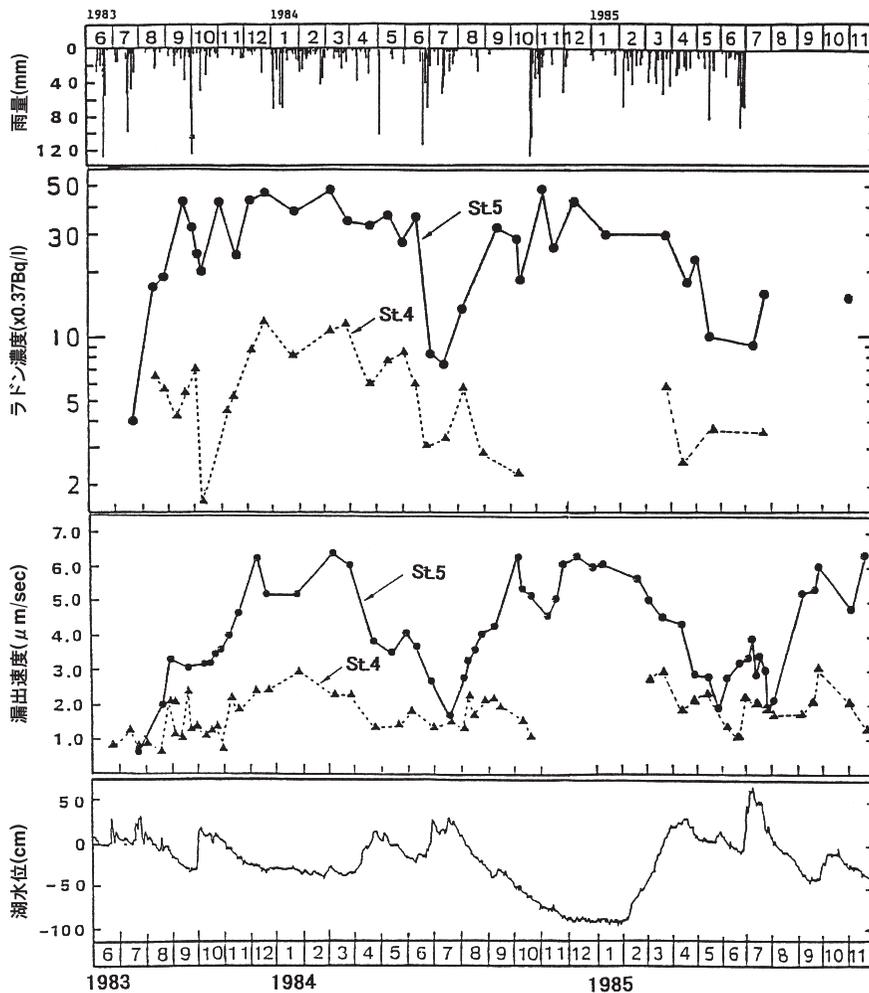


図4 和辻浜 (St. 4)、松の浦浜 (St. 5) の雨量、漏出地下水のラドン濃度漏出速度、水位季節変動

期より約5ヶ月遅れ、又、漏出量は大体湖水位の上昇期に減少し、下降期に増加しており、湖水位の上・下降変化とは逆の関係がある。降水量との関係は図からはよく解らない。しかし、琵琶湖の湖水は2～4月、6月～9月に貯水され、春季を除きほぼ降水量と対応する形で変化するとされている⁵⁾。また、降水量が少ない3月に貯水量変化(水位変化)が大きくなることに対しては、融雪水の流入によると考えられる。このことは、春季を除き、漏出量と降水量の関係についても、湖水位に対してみられた関係があることを意味している。

一般に、湖底漏出地下水は降水の多い時期に増加すると考えられるが、結果はそのようになっておらず、漏出量と降水量(又は湖水位)との関係はまだよくわかっていない。このような季節変化と関係する他の要因として、湖水位の上・下降によるシーページメータ設置点の離岸距離の変化、あるいは湖岸地下水位変化などが考えられる。本調査では、シーページメータを汀線の沖合15m前後(水深1～1.5m)の湖底に固定しているため、離岸距離と水深は湖水位の上・下降により変化し、特に緩傾斜湖底面の所では水位変化が僅かでも離岸距離は大きく変化する。

地下水の漏出量は離岸距離の増大に伴い急激に減少し、その多くは湖岸に近い区域に漏出しているとの報告があり、琵琶湖でも同様の結果が得られている地点もある。以上のことは、シーページメータの設置点が湖岸に近づく程、すなわち、湖水位が低下する程、漏出量が増加することを意味し、調査結果とよく一致している²⁾。しかし、場所によっては湖水位が低下しても、著しい漏出量変化がみられない所もあるので現段階では両者の関係は不明である。

1984年は春から雨量が少なく6月の梅雨期に1回100mmを越える降雨があったが20mm以下の場合が圧倒的に多く、全国的に渇水現象がみられ、琵琶湖でも大幅に湖水位が低下し'84年12月と'85年1月には80cm以上の低下を示した。そのためSt.4ではシーページメータが露出し11月～2月までの4ヶ月間測定不可能となり、欠測せ

ざるをえなかった。St.5におけるラドン含量と漏出速度の季節変化では、6、7、8月にラドン含量は小さく、12、1、2月頃は安定した高濃度を示すようなサイクルのあることがわかった。

St.4ではラドン量は10月に極小がみられ、漏出速度は10月と11月の間に極小がくるようである。欠測は残念であるが、大体の傾向はSt.5に似ており、ラドン含量の高い(又は低い)ときに漏出速度が大きい(又は小さい)ということが出来る。

以上をまとめてみると、湖水位の極小に近いところでラドン含量は極大を示すような傾向がうかがえる。ラドン含量・漏出速度、湖水位の季節変動は一年を周期とするかなりゆっくりした変動である。降雨による変動周期はもっと短いと思われるが、降雨量の大きい時期より数日(～半日)おくれてラドン含量の極小値がみられた。

3.2 調査地域Iの自噴水、湧水、湖水のラドン含量の季節的变化

漏出地下水は湖岸からの地下水のつづきと考えている。地下水そのものに、浸透した湖水が途中で混じて出てくる場合もありうるかもしれない。その場合は混じたものが漏出地下水とみている。漏出地下水量の大きいSt.5の近傍(500m以内)に選定した自噴水、湧水の定期観測の結果を図5に示した。またSt.4、5附近の湖水の季節的変動も示した。漏出速度の小さいSt.4の附近の湖水は低い、やはり年間変動がある。漏出速度の大きいSt.5の附近の湖水は相当に変動がみられる。St.5附近の湖水は年間平均0.13、最大値0.27、最小値0.02Bq/l以下でほとんど大きな変動がない。これに対してSt.5では大きな変動がみられ、年間平均1.07、最大値2.5、最小値0.35 Bq/lの範囲であった。定量した範囲では～4月頃にピークがみられ、St.5の漏出地下水にやや似た変動がみられた。

漏出速度・漏出地下水はよく似た変動を示し、自噴水より若干おかれて変動しているようにみられる。～4月に極大値を示す一年周期とみることが出来る。この定点に近い他の自噴水中のラドン

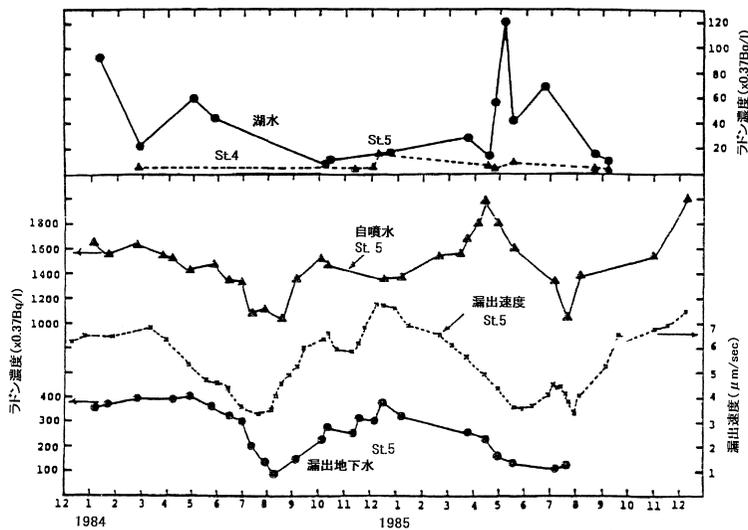


図5 松の浦浜 (St. 5) 地区自噴水、漏出地下水、湖水のラドン濃度および漏出地下水の季節変化

含量の変動もきわめてよく似て居り、～4月に極大値があるようにみえた³⁾。また自噴水・漏出地下水の変動もよく似ているが、極大・極小は漏出地下水の方がわずかずつだが遅れがあるようにみえた。

3.3 調査地域Ⅱ

調査地域Ⅱでは不圧地下水帯に属するN6と被圧地下水帯に属するN7を取り上げ、測定結果は図6、7に示した。

不圧地下水帯のN6の水温は地表、及び地表水の影響を受けて夏高冬低の季節変化を示した。N6のラドン濃度も水温の変動と連動するように夏高冬低の季節変動を示し、それぞれ1～39 Bq/l、11～27℃の大きな変動幅を示した。N6の流量は1～136 ml/sの変動幅を示したが、定常的には10 ml/s以下が多く全体的に流量は少ない。

被圧地下水帯のN7は水温の変動が最も少なく16℃前後で、季節変動はほとんどみられない。流量は多く変動幅は0～590 ml/s、定常的には380 ml/s見当であった。ラドン濃度は季節的変動を示さず、細かな変動を繰り返しておりN7の変動幅は24～46 Bq/l、定常的には38 Bq/l見当であった。

被圧地下水帯の水温の変動が少ないのは地すべりを起こしていない遠い帯水層の水が一貫して供給されるためで、水量も多く水温の変動も少ない。N6とN7は隣り合ったストレーナーであるにもかかわらず、N6の集水域は不圧、N7は被圧地下水帯であり、水温、ラドン濃度、流量の変動のパターンが著しく異なっている。両者の集水域の間で地すべりが起こった可能性が高く、それによりN6は風化粘土層がずれて水圧が変わり、一層表層水の影響を受けやすくなったと見られる。

4. 終りに

今回は起源の違う地下水中のラドン濃度の経年変化をまとめた。大阪地すべり地帯ではラドン濃度は不圧地下水帯では季節変動を示したが、被圧地下水帯では季節変動は見られなかった。また同じ不圧地下水帯である琵琶湖の湖底漏出水は冬高夏低型を示したが、大阪地すべり地帯では夏高冬低型を示した。前者は湖岸湧水と関係しており、湖岸湧水も冬高夏低型を示している。ラドン濃度の季節変動については地質・地形・滞留時間・水質等を含めて今後の検討が必要とされる。

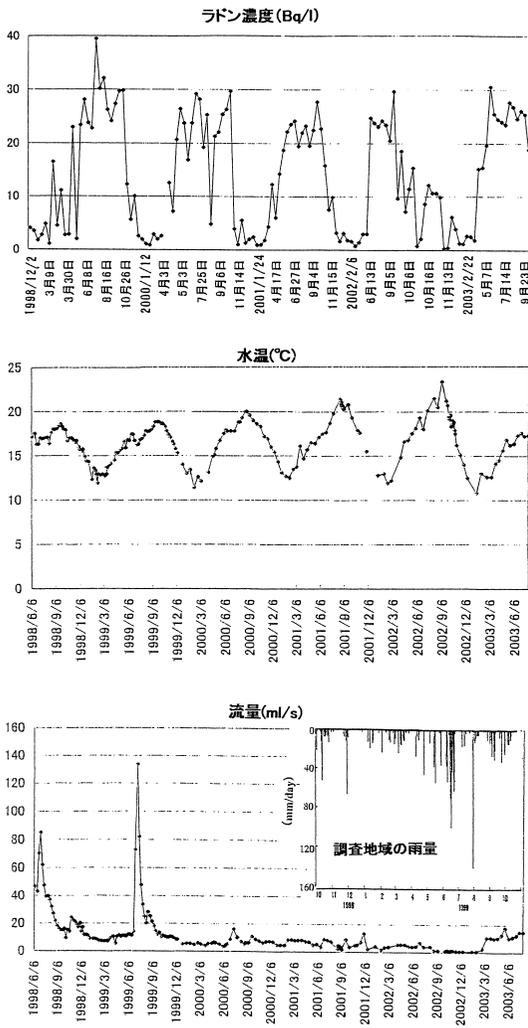


図6 N6におけるラドン濃度、水温、流量の季節変動

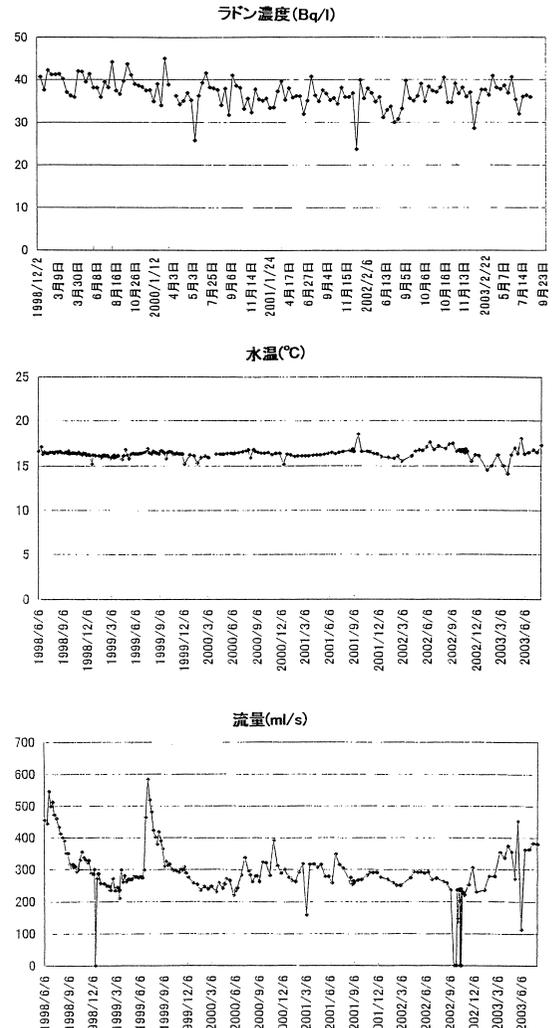


図7 N7におけるラドン濃度、水温、流量の季節変動

参考文献

- 1) 小林正雄 (1984), びわ湖の湖底に漏出する地下水について, 文部省「環境科学」特別研究, 地域環境要因としての地下水研究報告 (第1集) 107-117
- 2) 小林正雄 (1986), 琵琶湖の湖底漏出水に関する研究, 文部省「環境科学」特別研究, 地域環境要因としての地下水研究報告 (第3集) 24-48
- 3) 堀内公子, 村上悠紀雄 (1986), ラドン定量

- による漏出地下水と湖岸地下水の特性について, 文部省「環境科学」特別研究, 地域環境要因としての地下水研究報告 (第3集) 91-106
- 4) 株日さく (1989) : 昭和63年度 大和川水系 旭ヶ丘地すべり地区土質調査及び観測委託報告書
- 5) 池田 碩, 大橋 健, 植村善博, 吉越昭久 (1979) 近江盆地の地形, 滋賀県の自然—総合学術研究報告—, 滋賀県自然保護財団, 70-75

Seasonal Variation of Radon Concentration in the Groundwater and Spring Water

KIMIKO HORIUCHI*, MASAO KOBAYASHI**

**School of Social Information Studies, Otsuma Women's University*

***Dept. of Natural Science, Osaka Kyoiku University*

Abstract

Long term determination of the radon concentration of underground water (the bottom of lake Biwa's seepage water, lakefront spring water, and landslide zone underground water) with a different origin was brought together. The seasonal variation was not seen in the confined underground water zone though the radon concentration showed the seasonal variation in unconfined underground water zone in that. Moreover, the underground water of the landslide zone in Osaka showed a high winter of summer low type though the bottom of lake Biwa's seepage water that was the same unconfined underground water zone, showed a high summer of winter low type. In the former, it cooperates with the lakefront spring water, and the lakefront spring water also shows a high summer of winter low type.

The examination is needed about the seasonal variation of the radon concentration including geological features, geographical features, the residence time, and the water quality, etc.

Key Words (キーワード)

Radon (Rn) (ラドン), seepage flux (漏出速度), seepage water (漏出水), seasonal variation (季節変動), landslide (地滑り), unconfined groundwater (不圧地下水), confined groundwater (被圧地下水), residence time (滞留時間)