

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

2022年度 研究活動報告書

世界屈指のラジウム温泉である三朝温泉における放射線の環境調査

－三朝温泉の放射線によるホルミシス効果について－

鳥取県立倉吉東高等学校 倉吉東高校三朝温泉探究部

1. 背景

地元にはラジウム温泉で、三度朝を迎えると健康になると言われる三朝温泉があり、放射性耐性菌であるルプロバクテル・ラディオトレランスも発見されている。しかし、その一方で近年、鳥取県の隣県にある島根原発の再稼働の是非が話題になっており、放射線には悪いイメージがあるという背景がある。

2. 目的

この背景から、研究題目を「世界屈指のラジウム温泉である三朝温泉における放射線の環境調査」－三朝温泉の放射線によるホルミシス効果について－と設定した。本研究は三朝温泉の健康への効果についての調査や三朝温泉周辺の環境調査を行い、放射線の知識を深めることや、地域おこしなどにつなげることを目的とする。

3. 活動の内容

3.1 出前講義

日時：2022年10月14日（金） 16時00分～17時30分

場所：倉吉東高校

講義題目：「低線量放射線の健康影響と医療への応用」

講師：片岡 隆浩（岡山大学学術研究院保健学域）

○感想

まず、先生の研究内容を伺った。なぜラドン温泉が健康に良いのか？酸化ストレスの観点から考える。そもそも酸化ストレスとは体内の酸化・還元状態の維持機構が破綻し、酸化反応により引き起こされる生体にとって有害な作用のことで、活性酸素種（ROS）やフリーラジカルによって引き起こされる。また、酸化ストレスは多くの疾病の発症に関与する。放射線は生体内の水分子を電離しROSを生産することにより、生体に酸化ストレスを与える。過剰なROSは生体膜やDNAを酸化し、様々な病気を誘発する。他方、生体はROSを無毒化する抗酸化酵素・物質などを備えており、生体防衛機能として働く。低線量（率）の

脳	一過性脳虚血
肝臓・脾臓・腎臓・大腸・胃	四塩化炭素誘導肝障害・急性アルコール性肝障害・ストレプトゾトシン誘導1型糖尿病・四塩化炭素誘導腎障害・腎障害（糖尿病の合併症）・デキストラン誘導大腸炎・オキソソ酸カリウム誘導高尿酸血症・アルコール誘導胃粘膜障害
足	カラゲニン誘導炎症性足浮腫・ホルマリン誘導炎症性疼痛・神経障害性疼痛

表1 ラドン吸収による活性酸素種由来の疾患の抑制例
(片岡先生に頂いたスライドのプリントより)

放射線は、この生体防衛機能を活性化させることを明らかにした。更に、ラドン吸収によってSOD活性の増加も見られる臓器もあったということだ。（SOD活性とは活性酸素やフリーラジカルを除去してくれる酵素のことである。）よって、ラドン吸収による適量の活性酸素種は抗酸化機能を亢進させることで、様々な疾患に対する予防効果がある。その後、私達の探究についてアドバイスも頂くことができ、有意義な学びの場となった。

3.2 見学

①日時：2022年8月20日（土）

場所：三朝温泉街

見学の目的：三朝温泉街の放射線量の調査。ガンマ線を測定する。放射線量の計測の仕方などを学ぶ。

②日時：2022年11月19日（日）

場所：天然ラドン熱気浴泉 すーは一温泉

見学の目的：ラドン熱気浴を体験できる施設でホルミシス効果や、実際の放射線療法についてのお話を伺う。実際にラドン熱気浴を体験する。地域おこしへのヒントを探す。

内容：三朝町にある天然ラドン熱気浴泉「すーは一温泉」を訪れ、実際に熱気浴を体験した。また、施設の方にお話を伺った。

ラドン熱気浴とは、温泉熱を利用し高温多湿にされた熱気浴室に15～30分入り、体を温め、呼吸することによってラドンガスを体に取り込むことである。それによって細胞が刺激を受け、体の免疫力や自然治癒力を高めホルミシス効果を得られると言われている。（三朝温泉公式サイト）

○体験した部屋

不老庵 温度 36度 湿度 74%（体験日の外の気温 16度 湿度 64%）

ラドン熱気浴体験を行った。

○ラドン熱気浴の感想

温度、湿度ともに高い部屋であったが、リクライニングのできる椅子や、ゆったりとした音楽が流れており、快適であった。深く深呼吸することで、とてもリラックスすることができた。

○施設の方のお話

- ・熱気浴施設（とくに不老庵）は、天然の温泉の熱により温められており、これは、すーは一温泉の特徴の一つである。
- ・暑さや湿度を気にせずラドン吸入を体験できる乾式熱気浴室ヴァポリウムもあり、気軽に利用しやすい施設となっている。
- ・観光目的で来る人よりも、健康増進効果を得るために来る人が圧倒的に多く、60歳以上の人に比較的多く利用されていると見受けられる。三朝温泉のラドン熱気浴を求めて県外から来る人もいる。
- ・利用者から、本当かどうか断言することは出来ないが、ラドン熱気浴によって病気が治ったという報告を聞くこともある。
- ・精神的な病気を抱えている人にも利用される。
- ・大正時代からある施設である。当時のデザインをもとにした外装になっている。
- ・もともとは岡山大学が放射線療法のために使用していたが、鳥取県中部地震での被災により、使用を中止した。2020年、施設は再整備され非特NPO三朝温泉によって運営、管理されている。

ラドンを吸うラドン熱気浴は、肺や血液、循環系や末梢神経に効果があるのではないかと考えられている。

○考察・まとめ

すーは一温泉は、主に健康増進効果を高めるために利用されている施設である。放射線であるラドンを吸い込むための施設だが、県内外から人がやってくること、大正時代からの長い歴史や岡山大学が使用していたという実績があること、また三朝温泉の雰囲気にあった温かみのある施設の内装や外装によって、すーは一温泉での放射線に対する恐怖感はほとんど感じられていないと考えられる。むしろ、健康によいと認識されている。

今回のすーは一温泉への体験で生体的な実験を行った訳ではないので、ラドン熱気浴によるホルミシス効果が確実に実証されたとは言えないが、施設の方のお話からも精神的なリラックス効果を得ることができると考えられる。

③日時：2022年11月22日（月）

場所：人形峠環境技術センター

見学の目的：実際にウランの採掘が行われていた場所を訪れることで、放射線への理解を深める。また、三朝温泉との繋がりを調べる。

内容：11月22日に人形峠環境技術センターを訪ね、放射線についての講義、ウランの採掘に使われていた坑道の見学を行った。講義では、ウランの利用や人形峠の歴史、放射線の基礎知識、原子力発電の仕組み、身近な被ばくについて教わり、またサーベイメーターを用いた身近なものの放射線の測定や霧箱の観察もすることができた。

ウラン坑道の見学では、放射線の影響を受けるため10分と限られた時間であったが、採掘されていた当時のままの様子を見学したり、ブルーライトを当てることで緑色に光るウランを見たりすることができた。





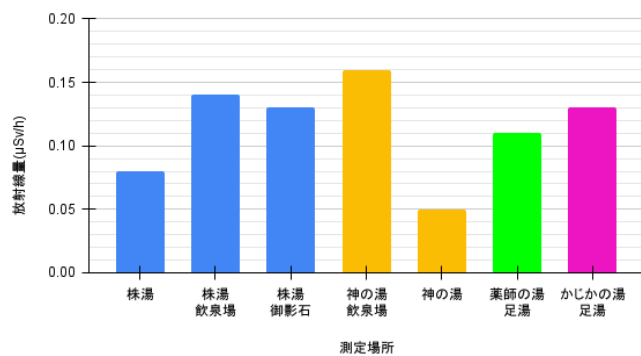
4. 研究の成果

①三朝温泉フィールドワーク

三朝町の放射線量を測定するためにエアカウンターを使用し、温泉を巡ってガンマ線量を測定した。主に足湯などをめぐり、温泉上 1.5m で測定した。複数回同じ場所で測定し、平均を結果としている。測定した温泉と結果は以下の通りである。

測定場所	μSv/h
株湯	0.08
株湯 飲泉場	0.14
株湯 御影石	0.13
神の湯 飲泉場	0.16
神の湯	0.05
薬師の湯 足湯	0.11
かじかの湯 足湯	0.13

三朝町 温泉 放射線量



温泉水場で測定するときと温泉水ではない通常の地面で測定するときとは、温泉水上での測定の方が数値は高かった。しかし、測定した機械の精度に不安があったり、測定時に地面からの距離が一定でなかったりしたことから、結果にばらつきがありフィールドワークにおける反省点も見られた。



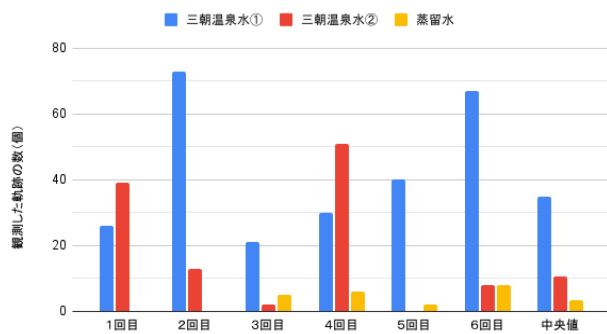
②霧箱実験

三朝温泉水ラドン濃度の違いを視覚的に確認するため、蒸留水と、朝に汲んだ三朝温泉水と、採水から1週間経った（半減期が2倍以上過ぎた）三朝温泉水で、5分間に観測された飛跡の数を比較した。

	三朝温泉水①	三朝温泉水②	蒸留水
1回目	26	39	0
2回目	73	13	0
3回目	21	2	5
4回目	30	51	6
5回目	40	0	2
6回目	67	8	8
中央値	35	10.5	3.5
平均	43	19	4

平均は小数第一位を四捨五入している

霧箱実験の結果



表では、朝に汲んだ三朝温泉水を三朝温泉水①、採水から一週間経った三朝温泉水を三朝温泉水②としている。

最初は放射線の飛跡を確認することができなかったが、霧箱装置の中に入れるエタノールの量を増やしたことで、飛跡を見ることができるようになった。また、目視で確認できる放射線の飛跡の数は観察者によって異なり、あまり正確な数値が得られなかった。しかし、数値の平均を取ると三朝温泉水①が一番多く、蒸留水が一番少ないという結果が得られた。

③かいわれスプラウト育成実験

参考文献調査で、X線を照射した植物が他より大きく成長したという実験結果を発見した。

三朝温泉水で植物を育てれば同じ実験結果が得られるのではと予想し、三朝温泉の利用法、またラドン線ホルミシス効果は植物に働くのか明らかにするためにかいわれ大根を用いた実験を行った。水道水、三朝温泉①（水換え当日にくんだもの）、三朝温泉②（くんでから20日以上経過したもののラドンの半減期は3.8日）で、かいわれ大根を育てた。

期間は1月10日から1月18日の10日間で、各自水やりは2日に一回に統一して育てた。

育てた人	水道水	三朝温泉①	三朝温泉②
小椋	2.5	3.8	2.5
河井	10	11	12
黒田	12	13	13
平木	9.1	9.2	10

表 かいわれ大根の長さ(cm)



水道水、三朝温泉①、三朝温泉②を比べると三朝温泉①が他よりも長く、芽の長さに少しの差がある。しかし、それぞれの成長過程にあまり大きな変化は見られなかった。水やりの時間や量、各家庭の室内温度などの多少の変化によりそれぞれの結果にばらつきがあった。

○考察

- ・小椋さんのかいわれ大根は育つのが他の3人に比べて短い。これは、室内温度が著しく低かったためと考えられる。
- ・4人とも3種類のかいわれスプラウトの成長具合に大差はないと見られ、この様になった要因として考えられるのは、水やり当日にくんだ三朝温泉水でもすぐにラドンは気体へ変化してしまうため、もしくは、三朝温泉水には植物育成を増進する効果がないのかもしれない。しかし、まだ、それを断定するのは難しく、さらなる実験と調査が必要である。
- ・再度実験を挑戦するとしたら、水やりの時間、量、日光の当たり具合などをもっと調節するべきであると思った。
- ・今回はかいわれ大根のスプラウトで行ったが、ブロッコリースプラウトなど他の種類も試してみたい。

④参考文献調査

○活性酸素について

活性酸素とは呼吸によって体内に取り込まれた酸素の一部が通常よりも活性化された状態になること。放射線を浴びると発生し、過剰になると細胞障害をもたらす。

それぞれ放射線を浴びて発がんに至る多段階での生体防衛機能は次の数字につながる。

1. 抗酸化物質による活性酸素の除去
2. 正確な DNA 修復
3. アポトーシス（細胞自爆）による変異細胞の除去
4. 免疫系による癌細胞の除去

このように多くの生体防衛機能によって発がんは防がれているため、過度に活性酸素を恐れる必要はない。

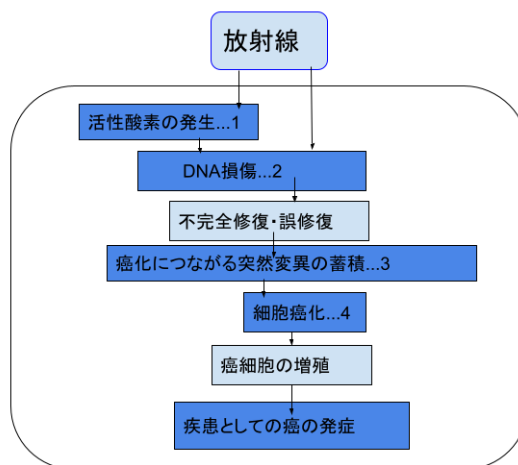


図1 放射線による発がん段階と各種生体防衛機能との関係

○ラドン温泉効果のメカニズムについて

活性酸素は多すぎると体に悪影響を及ぼすが、少量は体に良い効果が表れる。

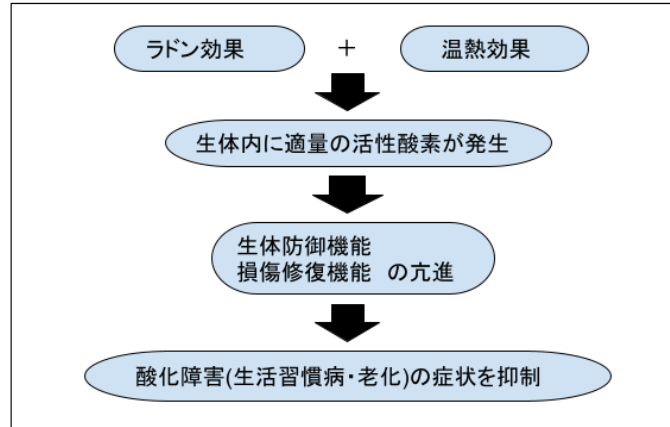


図2 ラドン温泉効果のメカニズム

○山岡聖典 著書「改訂版 環境と健康を科学する—放射線の不思議な生体作用」健康新聞社出版
について

まず、人体の免疫の仕組みや活性酸素について書いてあり、その後三朝温泉での実験や、その有益な効果についてまとめてあった。専門用語をわかりやすく解説してあったり、図もたくさんあり読者に理解しやすいように書いてあり、多くの方に一読してほしい一冊であった。この本の最終的な結論としてラドン温泉は様々な実験から図1にも示すようなメカニズムで人体に良い影響を与えていると示唆できた。

○三朝地区住民への調査

調査①三朝地区と周辺の対象地区の住民を対象に採血し、代表的ながん抑制遺伝子である p53 のタンパク量と SOD 活性を分析

対象地区と比較した三朝地区

p53 タンパク：男性 2 倍有意に多い 女性 多かったが有意差はない

SOD 活性： 男性 高かったが有意差はない 女性 約 15%有意に多い

高齢にも関わらず基準値より高い

→三朝地区住民は日常的に全国平均約三倍の屋内ラドンに相当するラドン吸入により体内に生じた微量の活性酸素ががん抑制遺伝子の増強と抗酸化機能の亢進とがん細胞のプログラム細胞死の誘導していることを示唆

調査②三朝に準じた濃度のトロン温泉における旧入浴による高血圧症と糖尿病の症状改善実験の結果

①組織循環を促進させ症状を改善させることを示唆

②糖尿病の症状の完全を示唆

③抗酸化機能を亢進させ、酸化傷害を緩和させることも示唆

三朝地区住民はがん抑制遺伝子が多いことと三朝温泉と同程度の濃度である放射能温泉やラドンミストを利用することがいくつかの病気を改善させた事がわかった。この調査結果は「三朝温泉は本当に健康に良いのか」という私達の探究の問いに「健康に良い」と答えることが可能になる大きな要素の一つだと考える。

○体への悪影響はあるのか

三朝温泉に一度入ることで受ける線量と医療被爆における線量とでは医療被爆のほうが遥かに高い(下の表を参照)。通常のX線検査によって身体に異常が起きたり、がんが発生したという具体的な報告はない。また、仮に三朝温泉を365日利用した場合、657 μ svの被爆をする。また、日本では放射線に関わる業務に携わる人の年間被爆上限量は50000 μ svである。このことから三朝温泉を利用して受ける放射線は微々たるもので体に悪影響を及ぼさないと考える。

被ばく線量	X線診断の種類(1件あたりの線量)			
	歯科	胸部(集団)	胃部(集団)	CT
三朝温泉				
1.8	30	50	600	8250

表 放射能泉利用の被ばく線量と医療被爆における実効線量との比較(μ Sv)

○三朝町男性の肺がんでの死亡率は高い?

参考文献によると1971年から十四年間行われた三朝地区と三朝町内の対象地区に対する調査結果は以下の通りだった。

- ・全ての原因による死亡率には2つの地区で差は認められない
- ・胃がんの発生率は三朝地区住民男女ともに減少
⇒ラドン濃度が低い別府温泉の温泉地でもいがんのリスクは低かったため、ラドン被爆と胃がんの関連を評価するにはさらなる調査が必要。
- ・肺がん発生率は三朝地区住民男性のみ増加
⇒個々の暴露レベルの測定や喫煙、食事など制御をしていない調査だが、三朝地区男性の喫煙率は平均よりわずかに高い程度で肺がんの発生率の結果には影響を与えないだろう。

○考察

インターネットで見つけた三朝地区男性の肺がん発生率が高いという情報はこの参考文献から見る限り本当だった。しかし、細かい数値を見ると三朝地区男性の肺がん発生率のSMR(実際の死亡数/気体死亡数 \times 100)は1.33であり、95%信頼区間は0.93-1.84であった。

また2015年から2019年の調査では三朝町男性の肺がん高リスクランキングは1734市町村中262位、三朝町女性では972位であった。

温泉に入ると得られる効果は主に肺周りに良いと言われることもあり、なぜ三朝町男性の肺がんが他のがん比べて高リスクなのか気になるところだが、前提として三朝町の人口が少なく母数が少ない調査だということ、女性の肺がんは高リスクとは言い難いことからこの結果を三朝町が高ラドン濃度地域だということとつなげることは強引過ぎるのではないかと考える。

5. 研究成果の発表

①日時: 2022年9月28日(水) 13時25分~15時20分

発表の場: 倉吉東高校探究中間発表

発表題目: 「世界屈指のラジウム温泉である三朝温泉における放射線の環境調査」

発表形態: ポスター発表

発表者名: 小椋未久(2年)、河井千佳(2年)、平木佑佳(2年)、黒田花凜(2年)

②日時：2023年2月1日（水）予定

発表の場：倉吉東高校探究成果発表会

発表題目：「世界屈指のラジウム温泉である三朝温泉における放射線の環境調査」

発表形態：ポスター発表

6. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

放射線は原爆や原発事故により危険というイメージがあるが、ラドン温泉である三朝温泉の効果や三朝温泉周辺の環境調査を通して放射線の正しい知識を得られたとともに、放射線に対するイメージが一変した。自然放射線が身の回りに溢れており、放射線は決して人間に関係のないものではなく、過度に恐れることはないということを実感した。人形峠環境技術センター見学時に施設の方が仰っていたように「放射線は正しく恐れる」ということが大切なのだと学んだ。本活動から学んだことを活かして、社会問題について考えてみたり、放射線療法や放射線技術の発展により多くの患者の命を救うなど、私達にできることはまだまだあると考えられる。また、この研究をするにあたり、三朝温泉が人体にどのような影響を及ぼすのかを調査するため、人体実験を行うことも考えたが、倫理的問題や結果の正確さの問題から断念した。人体実験をすることの何が問題であるのか改めて考えたところ、人には個人差があり望んだ実験結果が出ない可能性があることや人体への実験はリスクがあること、また、人体で実験することに対しては抵抗があることなどが挙げられた。

このことより、私達が感じたのは科学の正しいあり方である。はるか昔から、人類は人体実験などを行い、その産物を軍事目的に使用したりしてきた。その一例が、ダイナマイト、原爆、銃などである。皮膚にも科学は戦争で勝利するために使われている。このように科学は人類にとって善にも悪にもなるということに改めて気付かされた。たとえ知的好奇心のための科学的な実験や研究だとしても、検証可能なことは限られると知り、研究結果をどこまで社会に公開し応用していくのか考えることの必要性を感じた。科学者は、自分の行っている実験に責任を持ち、科学の正しいあり方をしっかり考えるべきであると思う。

7. 今後の課題

- ・フィールドワークでの放射線濃度測定調査で、高度な機械を取得できなかったことや、地面からの高さなど少々調節の必要な点があったのでそこを改善したい。
- ・探究を進めるにおいて「健康によい」という定義を「病気の予防・改善に効果がある」としたがもっと具体的に定義する必要があったかもしれないと考える。
- ・いつ三朝温泉が放射能泉であるとわかったのか、どのようにして、利用されて来たのかなど、三朝温泉と放射線の歴史を調べてみたいと思った。
- ・地域おこしにつなげるという面については、まだまだ思考中だが、フィールドワークや、すーは一温泉見学を通して、地域の人との交流も深めることができたし、多くの人々がこの地の湯を愛し、誇りに思っていることがわかった。

今のところは、私達の研究成果をポスターにし、すーは一温泉に展示してもらいたいと思っている。

8. まとめ

三朝温泉周辺で行ったフィールドワークでは、様々な要因により結果に多少ばらつきが見られたが、温泉水場と温泉水ではない通常の地面で比べると温泉水上での測定の方の数値が高くなることがわかった。霧箱実験では、実験日の翌朝にくんだ三朝温泉水の方が、半減期を過ぎた三朝温泉、蒸留水に比

べ、飛跡の平均値が高くなることがわかった。以上より、三朝温泉水には多くの放射線を含んでいることがわかる。

すーは一温泉見学では、実際にラドン熱気浴を体験し、どのように放射線療法が行われているのか学んだ。人形峠環境技術センター見学では、施設の方に放射線や人形峠についての講義を聞いたり、かつてのウラン坑道を見学し、身近に放射線を感じることができた。これらより、私達は放射線の知識を深めることができた。

また、岡山大学の先生の講義では、酸化ストレスの観点から三朝温泉の健康への効果を教わった。その他様々の参考文献を調査し、三朝温泉に入っても微量の放射線しか受けないため、体に悪影響は及ぼさないと考えられること、三朝地区住民や放射能泉入浴者への実験結果より、ラドン吸入やラドン温泉入浴は多くの病気の抑制につながるということがわかった。

以上より、三朝温泉は健康に良いということが強く示唆できる。

9. 参考文献

- (1) 三朝温泉公式サイト <https://misasaonsen.jp/sightseeings/sightseeing-2231/>
- (2) 中村麻利子、南条真佐人(2022).「霧箱の源泉として活用できる温泉の所在マップ」
https://www.jstage.jst.go.jp/article/sjst/62/3/62_21032/_pdf/-char/ja
- (3) 山岡聖典 健康新聞社出版 改訂版「環境と健康を科学する—放射線の不思議な生体作用」
- (4) 山岡聖典 (2011)「低線量放射線の健康への有益効果と医療への応用の可能性」
https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits/16/11/16_11_11_75/_pdf/-char/ja
- (5) (2020)岡山大学 HP の研究・産業連携より「NO. 23 放射性元素『ラドン』の健康増進・症状緩和効果」
https://www.okayama-u.ac.jp/tp/research/focus_on_23.html
- (6) Immunomodulatory Effects of Radon Inhalation on Lipopolysaccharide-Induced Inflammation in Mice
Takahiro Kataoka 1 , Shota Naoe 2, Kaito Murakami 2, Yuki Fujimoto 2, Ryohei Yukimine 2, Ayumi Tanaka 2 and Kiyonori Yamaoka 1,*
- (7) Mortality and Cancer Incidence in Misasa, Japan, a Spa Area with Elevated Radon Levels
Weimin Ye, 1, 6 Tomotaka Sobue, 1, 8 Valerie S. Lee, 1 Hiroshi Tanooka, 2 Masaaki Mifune, 3, 7 Akihiko Suyama, 4 Taeko Koga, 5 Hiroshige Morishima 5 and Sohei Kondo 5
- (8) 片岡隆浩 山岡聖典 (2018)「ラドン吸収による抗酸化機能の亢進と抗酸化ビタミン摂取との複合効果に関する研究動向」
- (9) GD Freak! 三朝町男性の全国と比べた死因格差
<https://jp.gdfreak.com/public/detail/jp010120004010131364/2>
- (10) 西山裕一 片岡隆浩 山岡聖典(2013)「ラドンの健康影響に関する一考察 ラドン療法の効果と機構に関する最近の研究動向」