

第31回柿田川生態系研究会  
2017.5.28

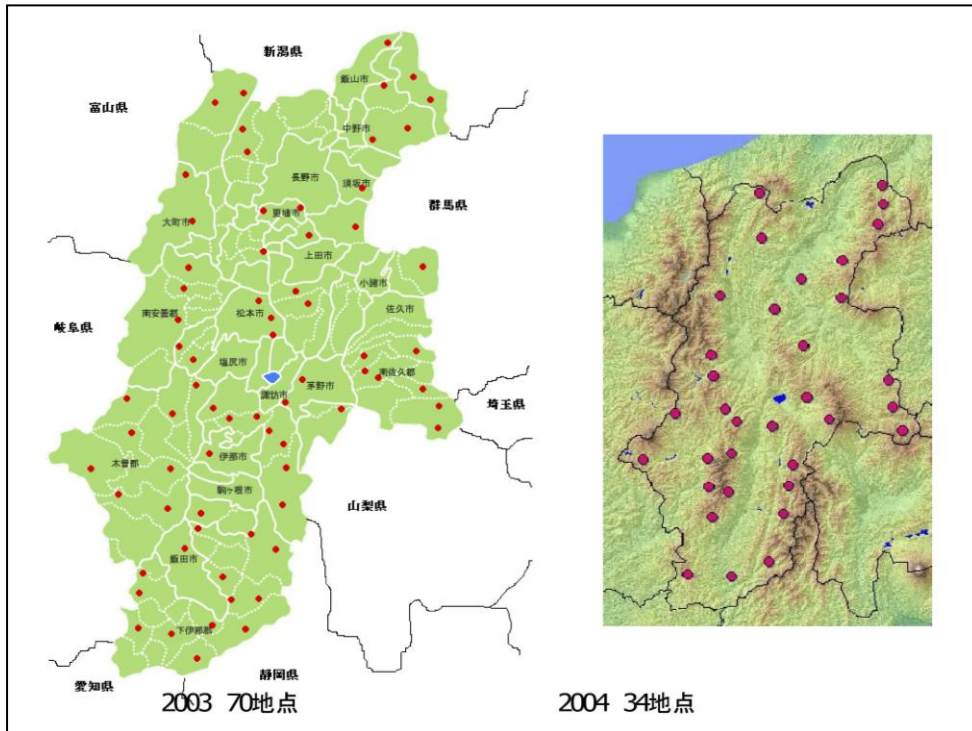
「湧水中にみられる硝酸イオンの由来」

信州大学理学部  
戸田任重

【戸田】 今、紹介いただきました信州大学理学部の物質循環学コースという、昨日の東城先生は生物科学コースで、私のほうはその隣の物質循環コースというところに所属をしております。戸田といいます。もともとは私も生物出身で、今日見えている三島先生のところでなんと卒研をやらせていただいて、そこは破門になりまして、タカハシ先生のところで修士、ドクターで、そこまでは生物をやっていたんですけども、食えなくて、その後、生物のほうはほとんど廃業して物質循環、窒素循環絡みの仕事をこれまでやってきました。

今日は、タイトルは「湧水系にみられる硝酸イオンの由来」ということなのですが、昨日皆さんは安曇野のきれいな湧水を見てきて、なかなかいい感じだったかと思うのですが、ちょっと残念なのですが、人間活動の影響が出ているというお話の予定です。

では、中身のほうへ進ませていただきますけれども、湧水の話に入る前に、安曇野の湧水なんかは北アルプスの雨水がしみ込んで伏流水になって扇状地の末端で湧き出しているところなんですけれども、そもそも長野県で沈み込む前の渓流水の濃度がどれぐらいかというところをまず見てもらってから安曇野の湧水、それからもう一つ、松本市内にも湧水群があるんですけども、そちらの湧水群についての説明をさせていただこうと思います。



もう少し、10年以上前ですね、もう2003年、2004年ごろですけれども、長野県内、信大に来たばかりのころもあって、あちこち走り回って溪流水を調査したことがありました。

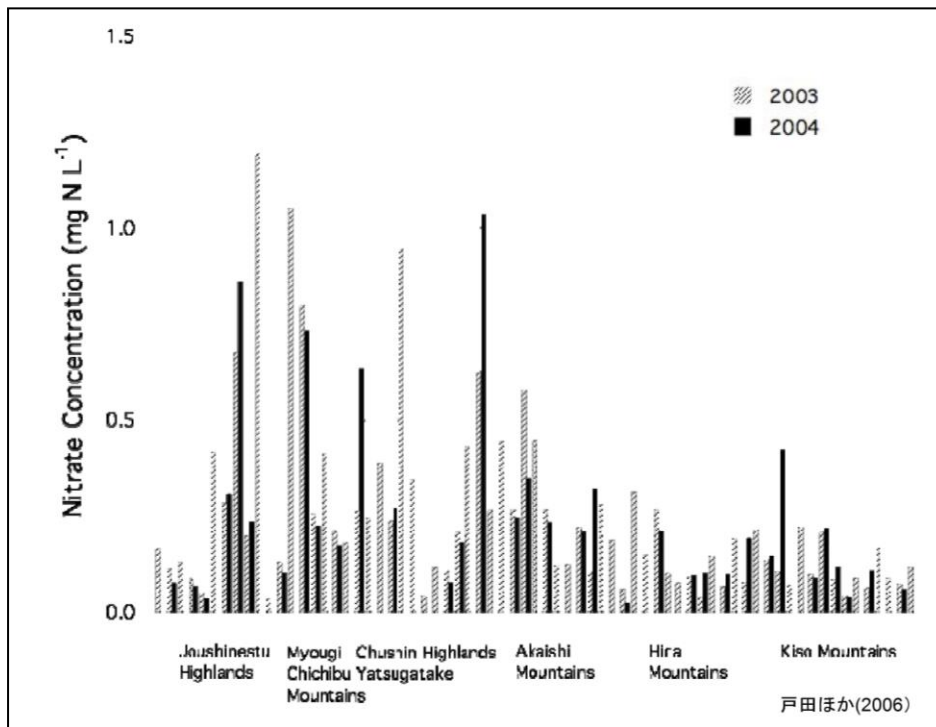


長野県はほとんど山なのでそこら中に溪流水はたくさんあるのですけれども、その辺のところを回って分析をしてみました。溪流といっても山奥のほうで、ここより上流には人間活動、農地とか、あるいは住宅とか、牧場のようなものはないというところまで行って、その水を採ってきて水質分析をするということをしたわけですが、

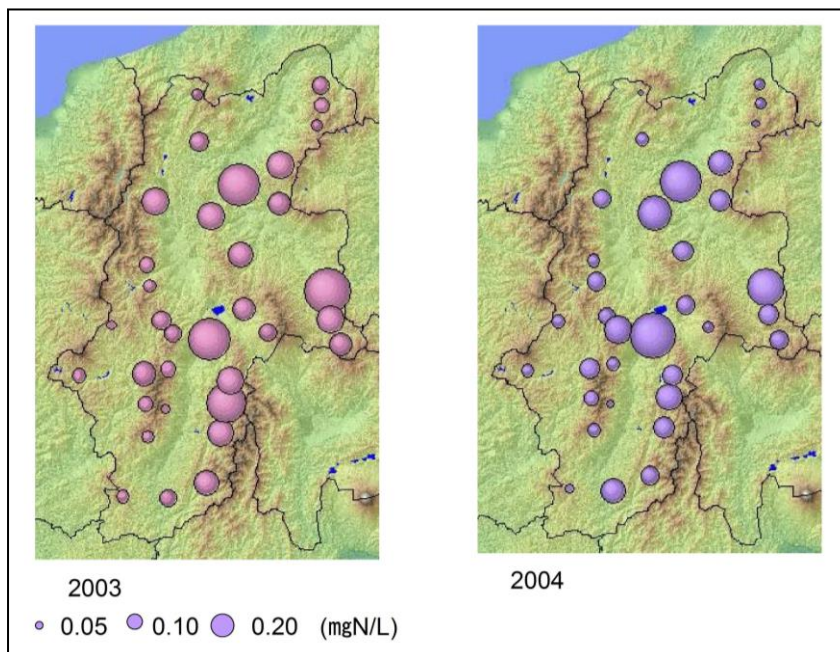


そのときも、これは硝酸イオンについての結果ですけれども、これからの私の表示では、硝酸イオンといっても、その中の窒素についてあらわしています。窒素濃度としてどれぐらいかという表示の仕方になります。硝酸イオンだと大体これの4.5倍ぐらいの値が硝酸イオンになりますけれども、硝酸イオンの中の窒素濃度ということですが、長野県内の溪流の、これが全体像で、これがゼロ、0.5 ppm、1.0ですから、ほとんどの地点が0.2ないし0.3 ppmぐらいの濃度で、中には1 ppmぐらいのものもありますけれども、全体平均すると0.2ないし0.3 ppmぐらいが一般的な濃度。特に今回の安曇野あたりの湧水は北アルプスの麓にあるわけですけれども、北アルプス沿いというのはさらにその中でも濃度が低いような地帯になります。0.2を切るぐらいですね。この辺が北アルプスに当たりますけれども、全体に低いんですけれども、その中でも北アルプスの周りというのはかなり濃度が低いところです。





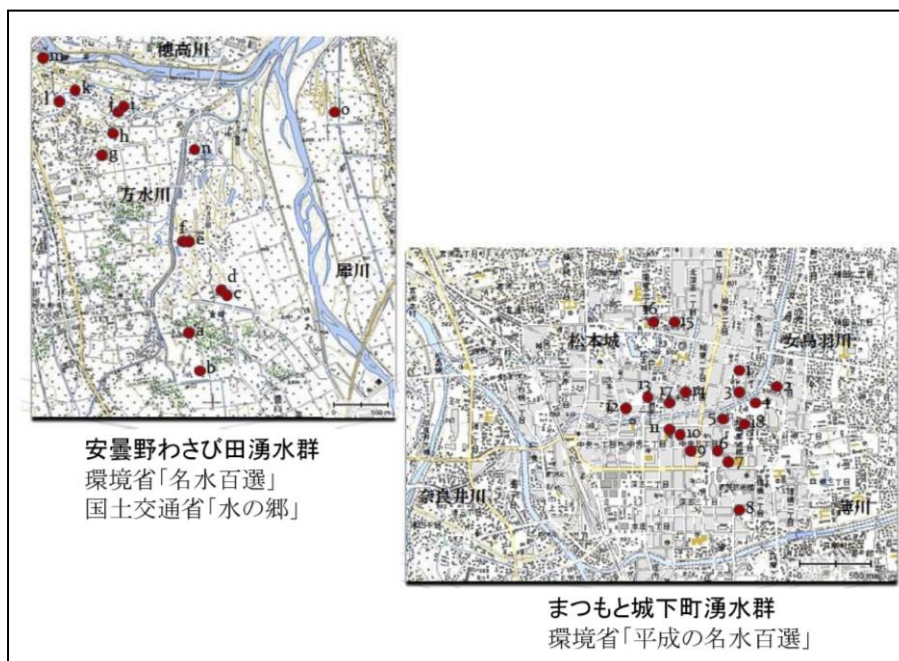
地図にこれをあらわしてみると、これは長野県ですけれども、東部とか中部あたりがやや高めで、西側の北アルプスあるいは中央アルプス沿いという周辺は、相対的にその中でも濃度が低いような傾向が見られました。



いよいよ安曇野及び松本の湧水になるのですが、現在、我々が泊まっているのはこの辺になりますかね。昨日、東城先生の図でも出ていましたけれども、これが梓川か。こっち側の辺が奈良井川になって、犀川になって、北のほうへ流れていくわけでありまして、安曇野の湧水群はこのあたり、それから松本城下町湧水群というのはこのあたりになりますけれども、その辺のところでは私がじゃなくて、昔、卒研究生がいたんですけれども、その卒研究生がやった結果になりますけれども、それを紹介いたします。

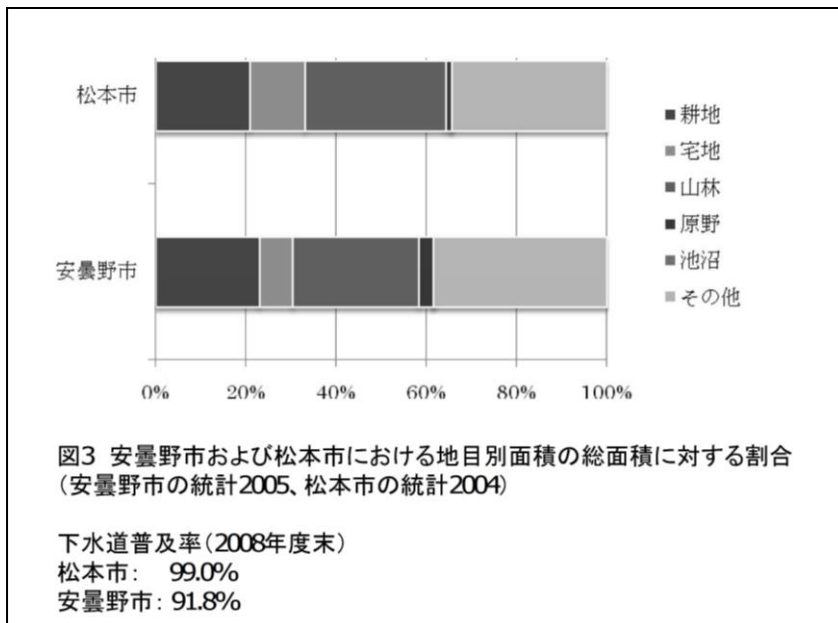


一つは安曇野わさび田湧水群とされているもので、環境省の名水百選にもなっているし、国土交通省の水の郷にも選定されているもので、このときの調査ではこのあたりで採水を行っています。これが万水川で、この辺がわさび田になりますかね。こっちかな。まあ、このあたり。その周辺です。それから、まつもと城下町湧水群のほうも、これも環境省の平成の名水百選に選ばれていますけれども、ちょっとわかりにくい地図ですけれども、この辺に松本城があって、松本城の南側あたりの湧水を何本か採水して調べたものになります。



調査地だけじゃなくて周辺まで含めた松本市と安曇野市の土地利用状況を示したもので、ちょっとわかりにくいのですけれども、これが耕地ですかね。宅地、それから山林、その他という形で示してありますけれども、松本市も安曇野市も大体似たような土地利用形態になっていて、面積的には山林が多くて、農地がそこそこ。安曇野のほうが多少農地の割合が高いぐらいの感じで土地利用が行われています。あと、水質の汚染源として下水道というのがあるんですけども、松本市に関しては下水道の普及率が2008年度の末で99%、安曇野市で92%ぐらいで、2

008年度の末というのはまだ松本市が波田町とか四賀村とか合併する前だよ。旧松本市で普及率が99%ぐらいですから、松本市にしても安曇野市にしても、人のし尿とか、あるいは雑糞水みたいなものが地下に浸透しているという状況ではないということがわかるかと思います。



問題の硝酸イオンの濃度、硝酸態窒素としての表示ですけれども、この辺が安曇野わさび田湧水群、それからこちらが松本城下町湧水群になっていて、スケールを確認していただきたいのですが、先ほど、長野県の渓流水で示したときは、この1がほぼ最大値だった状況ですけれども、ごらんのように安曇野にしてもまつもと城下町湧水群にしても1を超えている地点がほとんどで、1から3ppmぐらいですかね。中には、安曇野わさび田では6ppm, 7ppmなんていう高いのも見られているという状況にあります。ちなみに、北アルプスの扇状地の一番標高の高いところあたりで採水すると0.1から0.2ppmぐらいの硝酸態窒素濃度になっていて、それに比べると安曇野の地点も松本城下町湧水群にしても結構、窒素群が高くなっていく状況になっています。

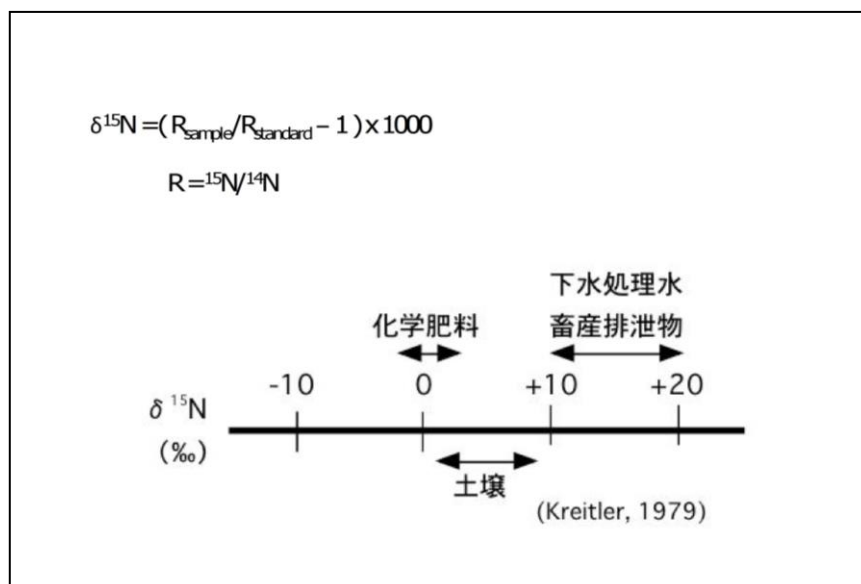




表1 安曇野わさび田およびまつもと城下町湧水群における硝酸態窒素濃度と窒素安定同位体比

	硝酸態窒素濃度 (mgN/L)	窒素同位体比 (‰)
扇頂部	0.2 (n=4, sd=0.03)	-0.3 (n=4, sd=1.1)
安曇野わさび田 湧水群	2.3 (n=15, sd=2.0)	+5.3 (n=15, sd=0.7)
まつもと城下町 湧水群	2.5 (n=18, sd=0.8)	+6.5 (n=18, sd=0.9)

その原理はすごくざっくりしたもので、窒素の同位体比、特殊なあらわし方をしていますがけれども、これであらわすと化学肥料はゼロ‰前後、大気を基準としていますけれども、大気と同位体と同じぐらいの同位体比を示します。それに対して下水処理水とか畜産排泄物、あるいは畜産排泄物を利用した堆肥とかはプラス10‰からプラス20‰ぐらいの、少し窒素の同位体比が大きめの値をとることは知られています。今回、安曇野にしても松本にしても、下水処理水はほとんど90%、99%は処理されていますので、これが地下水に入っている可能性は低くて、対象となるのは化学肥料と畜産排泄物であろうということになります。



それで、ちょっとした算数なんですけれども、こういう式を立てて解いていくことになるのですけれども、ここでは上の式が窒素についての収支を表した式で、下の式は同位体比についての収支をあらわした式になります。この中でWというのは実際の湧水、井戸水の窒素の濃度、Xというのは化学肥料由来の窒素、それからYが畜産排泄物の、こちらは生活排水がないので畜産排泄物由来の窒素。それから、汚染がない、先ほど示した扇頂部の河川にも多少の窒素分が含まれていますけれども、そののないところ、本来の土壌由来のものをここではZとしています。知り



たいのはこのXとYの値がわかれば、化学肥料からどれくらい窒素が来ているか、それから畜産排泄物からどれくらい来ているというのが解けるということです。a b c d eというのは窒素の同位体を示していて、aは湧水の窒素の同位体比、bが化学肥料の同位体比、cは畜産排泄物の同位体比、それからdが土壌窒素由来の同位体比になりますけれども、この中で、このZとdに関しては、ここに書いてありますように、人為的な影響が最も少ないと考えられる扇頂部河川水の硝酸態窒素濃度、平均すると0.2ぐらいだったのですけれども、それとこの同位体比がマイナス0.3‰があるので、このZとdに関しては定数を与えてしまいます。そうするとこれ定数、これ定数になりますので、なっていて、実測値としてWがあって、a b cというのはわかっている数値。後でちょっと説明しますが、こっちは湧水の同位体ですね。bは化学肥料、cは畜産排泄物になりますけれども、これがわかっていると、2つの連立方程式で未知数はXとYだけなので、XとYについて解くことができるということになります。

$$W=X+Y+Z$$

$$aW=bX+cY+dZ$$

- W：地下水のNO<sub>3</sub>-N (mgN/L)  
 X：化学肥料由来のNO<sub>3</sub>-N (mgN/L)  
 Y：畜産排泄物および生活排水由来のNO<sub>3</sub>-N (mgN/L)  
 Z\*：土壌窒素由来のNO<sub>3</sub>-N (0.2 mgN/L)  
 a：地下水の硝酸態窒素のδ<sup>15</sup>N (‰)  
 b：化学肥料由来の硝酸態窒素のδ<sup>15</sup>N (‰)  
 c：畜産排泄物の硝酸態窒素のδ<sup>15</sup>N (‰)  
 d\*：土壌窒素由来のδ<sup>15</sup>N (-0.3 ‰)

\*調査地域で人為的影響が最も少ないと考えられる扇頂部河川水のNO<sub>3</sub>-N濃度 (Z=0.2 mgN/L) とδ<sup>15</sup>N (d=-0.3 ‰) を用いた。

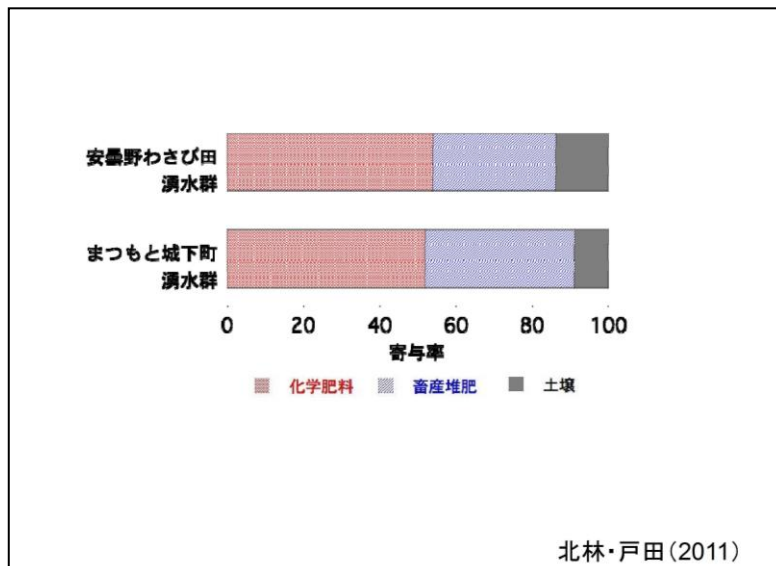
化学肥料等の堆肥畜産排泄物の同位体比なのですが、これも後でちょっとご紹介しますが、長野県の南のほうに豊丘村という村があるのですが、そこで実際に使われている肥料を集めて分析したときの結果になります。そのときの結果は、化学肥料を5種類集めて平均すると、マイナス0.6‰。これは教科書的なゼロ‰に近いという値になりますけれども、マイナス0.6‰。それから、有機資材と書いてありますけれども、堆肥の類いが牛ふん堆肥でプラス2.2、豚でプラス1.5、鶏ふんでプラス1.5‰ぐらいで、これはほんとうはこの使用の内訳を見ないといけない、重みづけしなきゃいけないんですが、とりあえず単純に平均でプラス1.7.2‰というのを堆肥の、あるいは畜産排泄物の窒素の同位体として計算しています。

表1 豊丘村で使用されている肥料の $\delta^{15}\text{N}$

		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
化学肥料	(5種類)	-0.6 ± 0.8 (n=5)
有機資材	牛堆肥	22.0 ± 7.5
	豚堆肥	15.0 ± 0.1
	鶏糞	14.6 ± 1.8
	平均	17.2 ± 4.2 (n=3)

斎藤修論(2007)

それで計算すると、結果としてはこういうふうな割合が出ています。安曇野わさび田湧水群だと、その湧水に含まれている窒素の50%、約半分ぐらいが化学肥料由来の窒素で、青で示してあるのは畜産堆肥。あるいは一部畜産を行っている団地みたいなところもありますので、直接それが少し入っている可能性もありますけれども、基本的には多分、堆肥化して畑にまいている分だと思われませんが、それが30%ぐらい。あと、本来の土壌由来のものが10%前後というところですかね。松本城下町湧水群もあまり比率は変わらなくて、化学肥料が50%ぐらい、畜産堆肥がちょっと多めで40%近くになります。このぐらいの率で、汚染していないところに比べると濃度が高まった大きな理由というのは、化学肥料と、それから畜産堆肥の由来の窒素群が湧水の中に混じってきているんじゃないかというふうな結論になっております。



北林・戸田(2011)

とりあえずこのわさび田と松本の湧水群の話はここまでで終わりなんですけれども、これだとちょっと時間があるので、先ほど出てきた豊丘村での話を少し紹介します。豊丘村のほうは、今の同位体の話に加えて、地下水が何年ものかっていう年代解析まで加えている仕事なので、それをちょっと紹介したいと思います。

## 豊丘村での硝酸塩汚染の解析事例

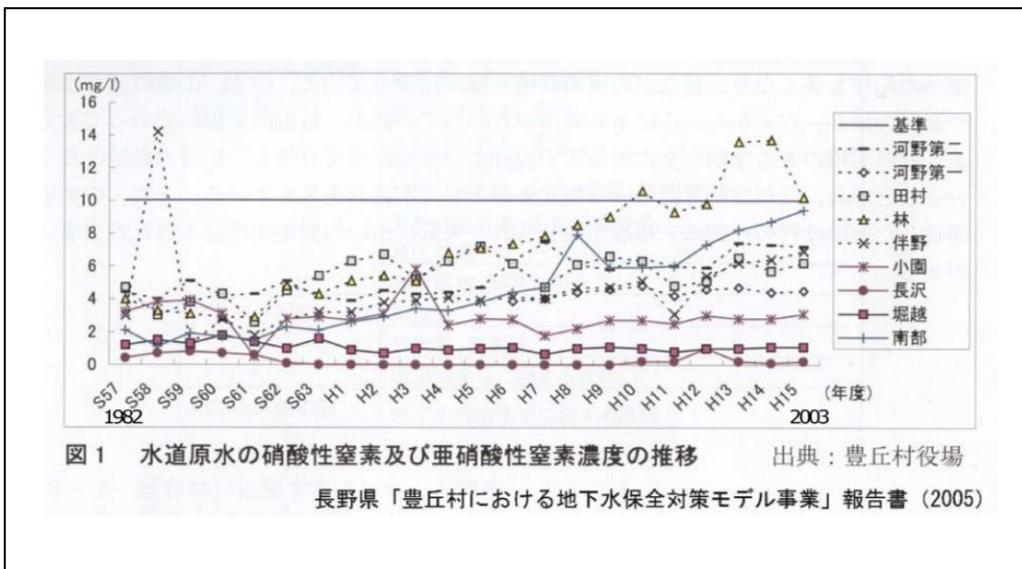
豊丘村といってもご存じの方は少ないと思うのですが、ここに諏訪湖があって、諏訪湖から天竜川が静岡県のほうへ流れていますけれども、天竜川の南のほう、飯田市の近くにあるひなびた農村になります。



この豊丘村で調査をしたのですが、航空写真がこれかな。これ、役場のホームページに載っていたのですが、天竜川がこう流れてきて、天竜川の河岸段丘のようなところに発達した集落になります。一番川沿いのところに農地があって、住宅があって、その上にまた少し畑があって、そのさらに上は南アルプスの麓になっていくというような場所になります。この村では、飲み水の水源として地下水をくみ上げて利用しています。



この水源用の井戸の中に含まれている硝酸態窒素の推移を示したもので、これが1980年、これが2000年ぐらいになりますけれども、硝酸態窒素に関しては飲み水の基準というのが10ppmというふうに日本では決められていますけれども、この豊丘村の水源の井戸水はずっと低濃度で推移している井戸もあるのですけれども、半分近くの井戸がいずれも濃度が上昇傾向になっていて、中にはこの黄色の三角のような形で基準値を超えてしまって水源として使えなくなってしまっているというような井戸も出てきて、豊丘村で今後どうしたものかというようなことが問題になっていて、当時、役場の人たちと、それから県庁の環境保全研究所の人たちと、それから信大の工学部の藤縄先生と私とかかわって少し解析調査をしたことがあったときの話です。



豊丘村は水源用の井戸も10本近くあるのですけれども、それ以外にも家庭用にも、全部のお宅ではないけれども、かなりの家が井戸を持っていて、中には自噴しているような井戸もあるの

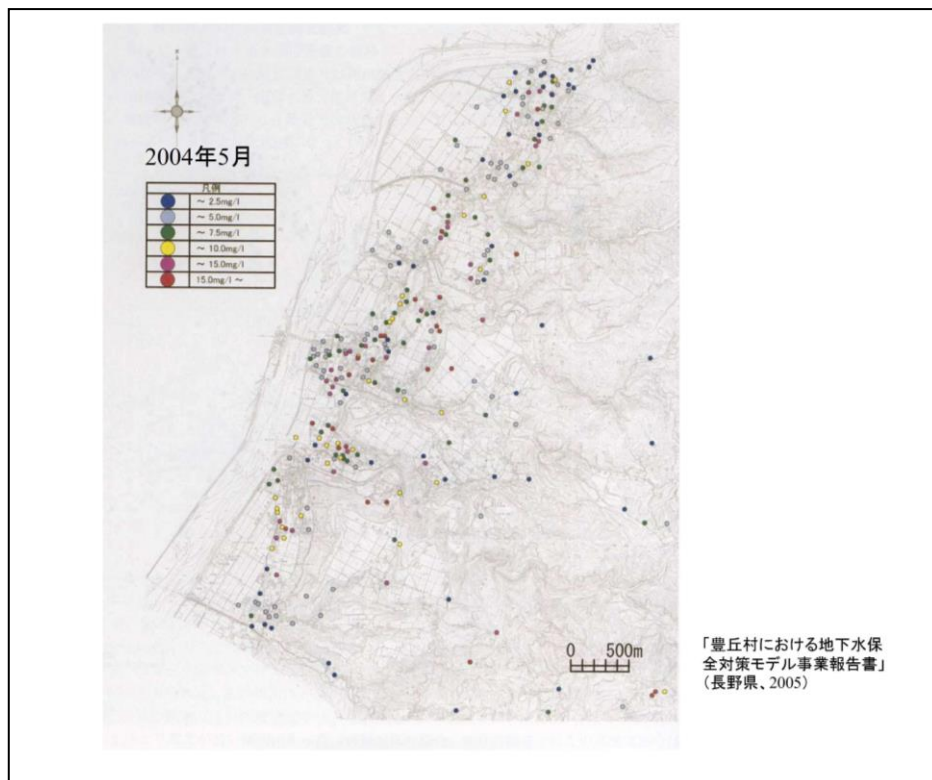


ですけれども、役場の協力を得られるとかなりの数のサンプルが集められて、300本以上の井戸水を調査した結果になりました。これは濃度を色分けで示してあるのですけれども、水源の井戸の硝酸イオンの濃度は結構高かったのですけれども、個人の井戸も含めてみて、黄色あたりから10ppm近くなって、ピンク、赤というのは10ppm前後で基準値に近いところになっちゃうんですけど、これは広く、かなりの高い井戸がたくさん見られるということです。

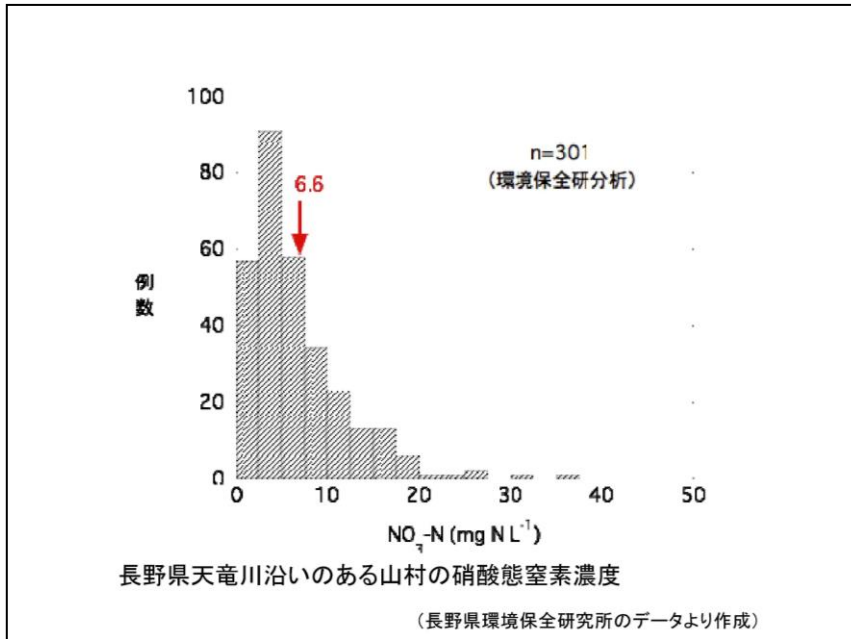
【加藤】 10ppmって規制値でしょう？

【戸田】 規制値です。飲み水としての規制値です。

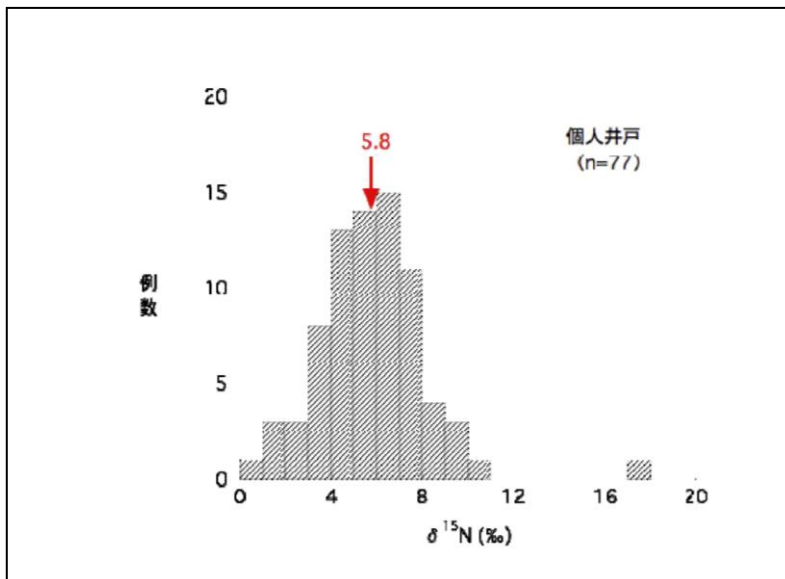
【加藤】 それ以上は飲用に使えない範囲ですから、これはちょっと衝撃的ですね。



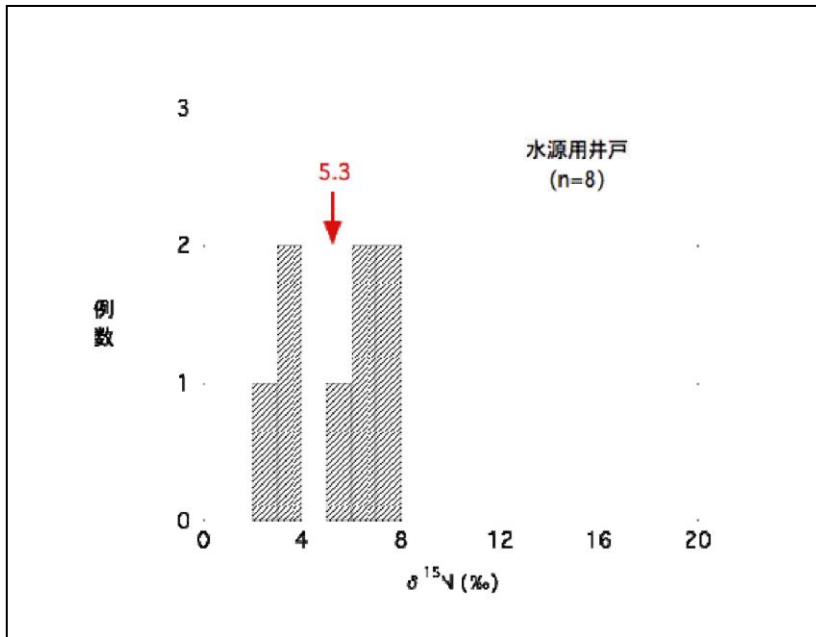
【戸田】 実際、飲み水には使っていないで、水源の井戸からの配水を利用しているんですけども、頻度分布にしてみると、ここで301本分析していますがけれども、こんなふうな感じで、ここは10ppmのここが基準ですから、まあ6割ぐらいはそれは超えていないのですけれども、かなり高い。平均でも6.6ぐらい。中には20、30とか、とんでもないような井戸水も出てきちゃったりしているようなところになります。同位体を分析したものは全部、300本も分析してなくて、その一部なんですけれども、同位体分析してみると、



これは個人用の井戸のほうの同位体の分析結果になりますけれども、ゼロ‰から10‰ちょっとぐらいの範囲分布して、中にはちょっと飛び抜けた、17、8‰というような高い値を占めて、これはかつてその近くに養豚場だかがあって、そのし尿を浸透させたということがわかってきて、それとも一致していたのですけれども、通常の井戸だとこの辺のゼロから10‰ぐらい、平均すると6‰ぐらいの値をとります。



ここでも同じように、水源用の井戸も同位体比分析してみても、これは数が少ないので正規分布なんていう形になりませんが、平均すると2‰から8‰で、平均5‰ぐらいの数値になりました。



ここでも先ほどご紹介したような方法で窒素の起源を、窒素の同位体を使って解くというようなことをやってみました。

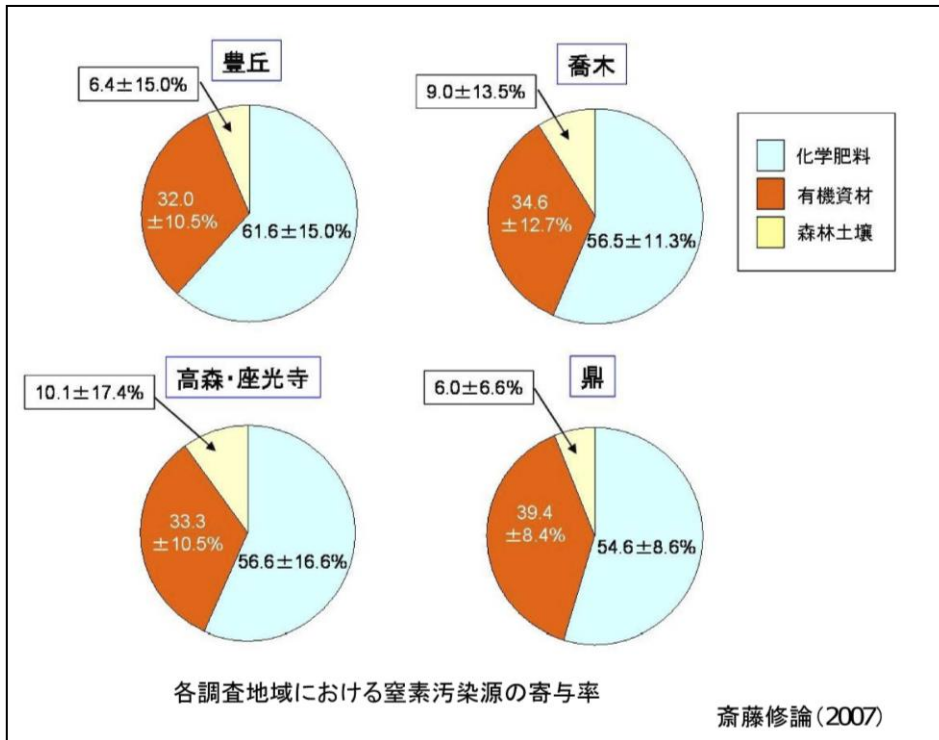
$$W = X + Y + Z$$

$$aW = bX + cY + dZ$$

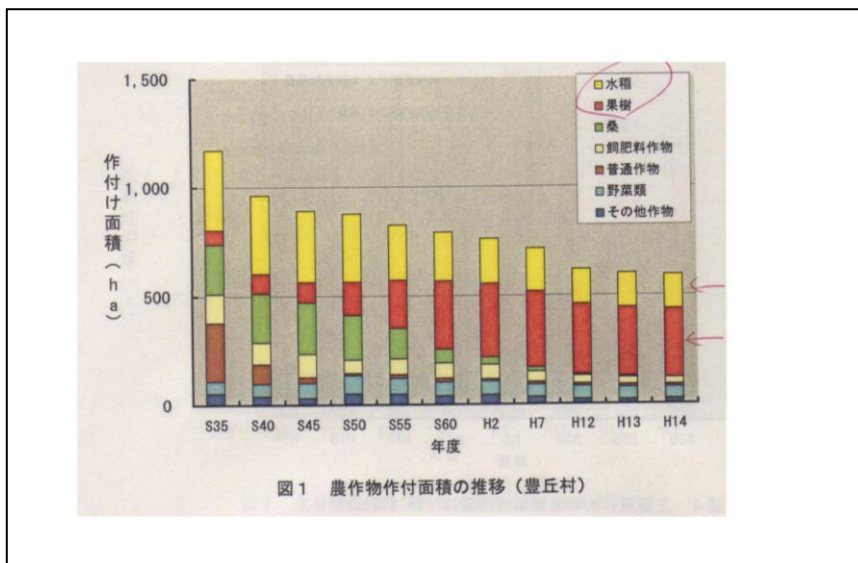
- W : 地下水のNO<sub>3</sub>-N (mgN/L)
- X : 化学肥料由来のNO<sub>3</sub>-N (mgN/L)
- Y : 畜産排泄物および生活排水由来のNO<sub>3</sub>-N (mgN/L)
- Z\* : 土壌窒素由来のNO<sub>3</sub>-N (0.2 mgN/L)
- a : 地下水の硝酸態窒素のδ<sup>15</sup>N (‰)
- b : 化学肥料由来の硝酸態窒素のδ<sup>15</sup>N (‰)
- c : 畜産排泄物の硝酸態窒素のδ<sup>15</sup>N (‰)
- d\* : 土壌窒素由来のδ<sup>15</sup>N (+0.4 ‰)

\*調査地域で人為的影響が最も少ないと考えられる最上流地点の地下水のNO<sub>3</sub>-N濃度 (Z=0.2 mgN/L) とδ<sup>15</sup>N (d=0.4 ‰) を用いた。

こっちが先にやった結果なのですが、その結果として得られたのはこのグラフで、豊丘村に関してはこれです。このときには隣接するところにあった喬木村とか、これは飯田市の一部かな。ここも飯田市ですね。この2つは飯田市のある地区なんですけれども、含めて分析したんですけれども、豊丘村の結果だと、化学肥料由来の分が6割ぐらい。それから畜産堆肥に由来する分が32%、3割ぐらい。あまりこの周辺のところもそれほど変化のある数字じゃなくて、似たりよったりで5、60%が化学肥料由来で、3、40%が堆肥由来というような結果になりました。



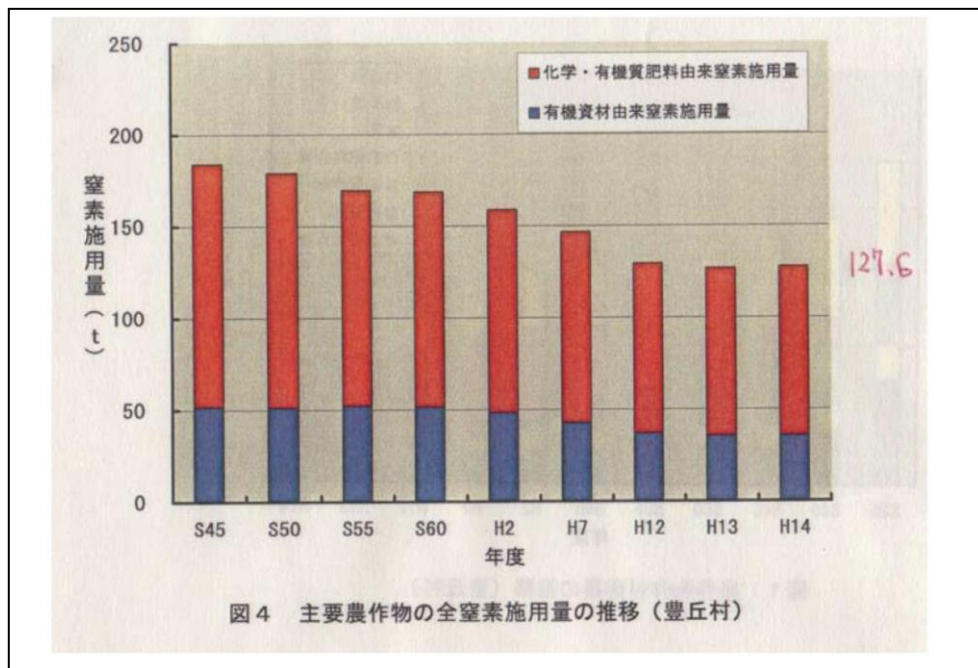
一応、私の分担の分はこれで片づいたのですが、汚染源としても化学肥料と、続いて堆肥ということなんですけれども、豊丘村の統計データを眺めてみると、これは豊丘村に限らず全国的にそうなので、農業自体は衰退しています。これは昭和と平成でちょっとわかりにくいですが、1960年以降ずっと農地が減ってきている状況で、中身は少し入れかわっているものもありますけれども、減少傾向です。当然ながらそうなるに使っている肥料も減少傾向になります。1970、80、90、2000、ここが2001、2002ですが、80年あたりから減っていく減少傾向がみられているという状況かと思えます。



そうすると、汚染源、これ、内訳が、統計上の内訳、化学肥料が赤で、青いほうが畜産堆肥になりますけれども、いずれも減少傾向という。80年前後から減少傾向になっているのが見えるのですが、先ほどの解析の結果、この辺が汚染の主体だったわけですが、汚染

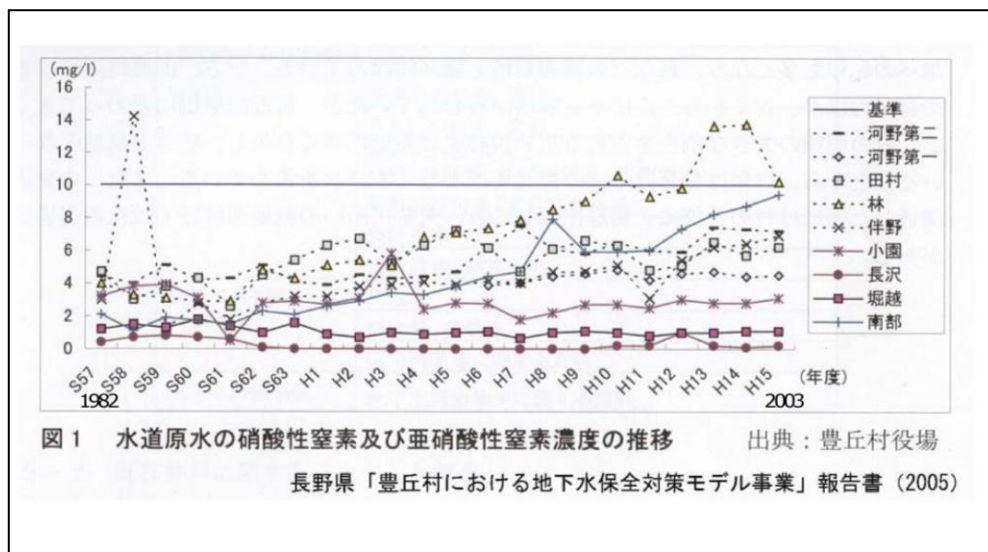


の主体である肥料のほうは減少傾向であるにもかかわらず、水源用の井戸の濃度は上昇傾向の井戸が半分ぐらいあるわけですね。



そうすると、原因が減っているのに濃度が上がったらかおかしいじゃないかということがあるわけですが、その一つの言いわけは、説明をちょっと忘れたのですが、水道水源用の井戸は深さが100メートルぐらいのところからくみ上げているの井戸で、かなり深井戸です。深井戸ということは雨水がしみ込んでから100メートル近くまで浸透して行って、それをくみ上げるという形になるので時間的なラグがあるだろうということがあります。

これは一般的な、教科書的な日本の土壌の浸透速度をあらわしたもので、10メートル浸透する



のにどれぐらいかかるかというので、当然、土壌タイプによって変わりますが、平均で20年、長いのだったら200年ということになるわけですが、実際の豊丘村の井戸水が何年ぐらいの滞留時間を持ったかどうかというのを分析してみましたというか、分析してもらいました。

表 34 硝酸性窒素の鉛直方向の移動速度<sup>19), 20), 21)</sup>の試算結果

条 件	10m浸透するのに要する時間
黒ボク土、年間降水量1600mm	21年
黒ボク土	8-34年
関東ローム	6.7-20年
砂質ローム	3.3-10年
シルト質ローム	25-50年
平 均	20年

「豊丘村における地下水保全対策モデル事業報告書」(長野県、2005)

それは、フロンガスとか、これはオゾン層を破壊するフロンの類いですが、六フッ化硫黄というのも人工的な活性ガスになりますけれども、その辺は人工的なもので、もともとなかったものが使われてきて、大気中濃度が、

**SF<sub>6</sub>(六フッ化硫黄):** 化学的に安定した不活性、不燃性、無色、無臭の気体で、生理的にも無毒・無害、腐食性・爆発性なし  
→絶縁材料(気体)

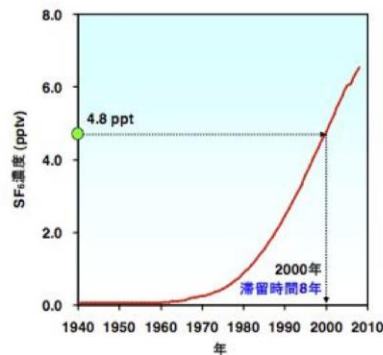
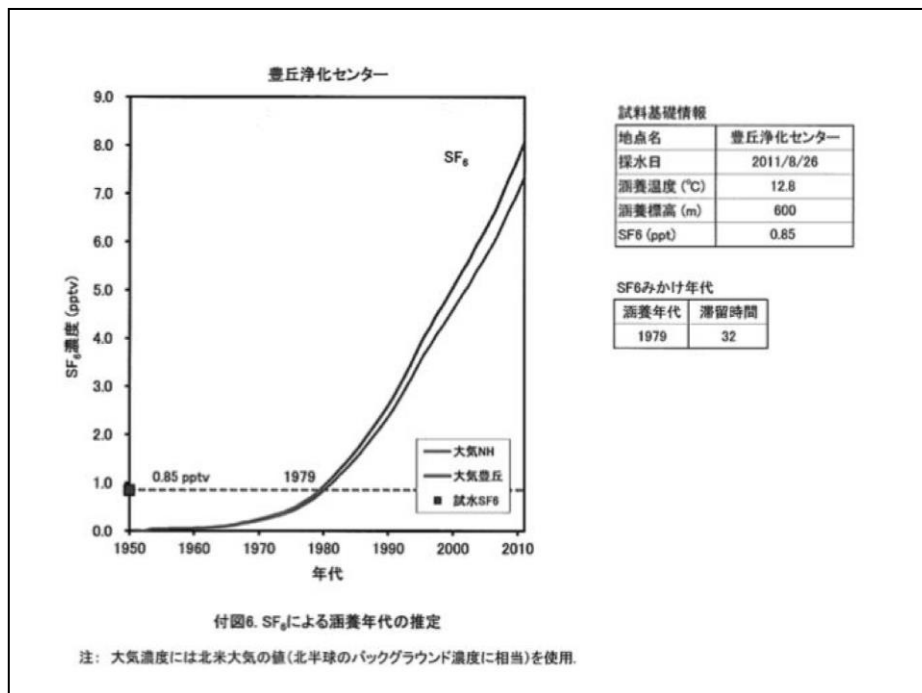


図 1. 大気中の SF<sub>6</sub> 濃度の変遷と年代推定例.

これは六フッ化硫黄の大気中の濃度の変化ですが、急速に大気中濃度が変化している成分になります。これが大気中で雨水と平衡状態になってしみ込んでいって地下水になっている。しかも不活性ガスなのでほとんど雨水になってからは地下に浸透していってからは変化を受けないということは考えられるので、地下水をくみ上げて、そこに含まれている、この場合は六フッ化硫黄ですが、六フッ化硫黄の平衡濃度を求めると、その平衡濃度のときには何年ごろの堆肥に相当するかということは算出できるので、例えば 4.8 ppt だったら、これは 2000 年当時の堆肥に相当するので、2000 年ごろに地表面からしみ込んだ水じゃないかっていうふうな年代解析ができるという仕組みになります。



それで、実際に一つの分析の事例ですけれども、これは現在使われていない水源用の井戸として掘ったものなんですけれども、ここで分析したらば、0.85 ppt という六フッ化硫黄が含まれていて、それだと1979年当時の、温度とか標高とか地域によって補正しているので、豊丘村の補正された大気の数を使って推定しますけれども、1979年ごろに浸透した水じゃないかっていうふうな結果が得られたということになります。幾つか水源用の井戸、あるいは水源用の井戸、この辺は大体、深井戸が多いんですけれども、それと何件か硝酸濃度が高かった個人用の井戸で六フッ化硫黄を使って年代を推定した結果がこれになります。見てもらうと、これがいつごろしみ込んだか、これが滞留時間に。これは2012年ぐらいの解析なので、2012年当時で……あ、2011年か、これは。2011年当時のデータですから、11年の滞留時間ということは2000年ごろにしみ込んだ水ではないかというふうなことです。見てみると、深井戸のほうは4年から、古いほうになると30年ぐらいの滞留時間を持っていて、32年後ということ、1979年ごろに地表で降ったものがしみ込んで、それを現在、くみ上げたという結果になっているということです。これは個人用の井戸については、中にはとても古いものもありますけれども、個人用のは基本的に浅井戸が多くて、4メートルとか5メートルの深さの水をくみ上げているので当然といえば当然ですけれども、滞留時間は1年ないし二、三年というふうな結果です。

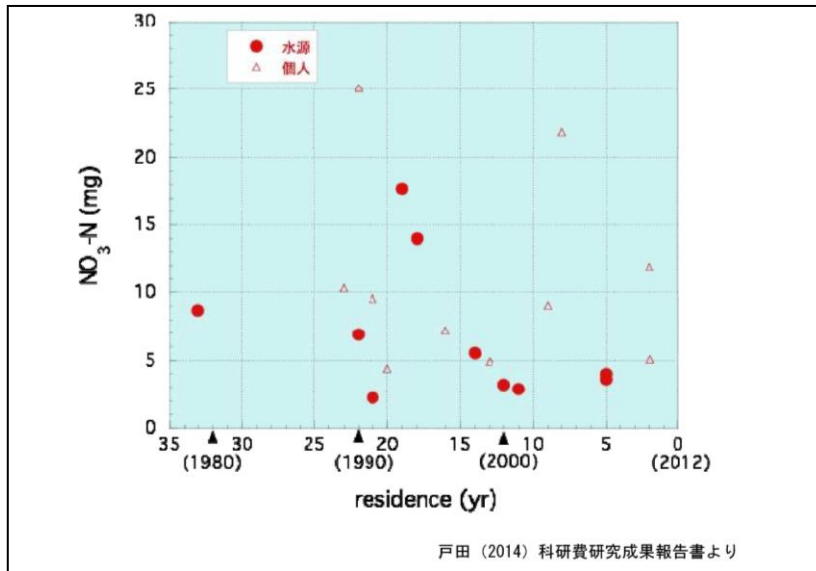
表1 長野県南部豊丘町における地下水の硝酸態窒素濃度、窒素同位体比、 $\delta^{15}N$ 濃度

	NO <sub>3</sub> -N mg/L	delta15N per mil	寄与率 (%)			SF <sub>6</sub> f mol/kg	消費年代	滞留時間 年	$\delta^{15}N$ ‰
			化学肥料	堆肥	土壌				
1 伴野新水源	6.9	2.7	78.7	18.4	2.9	0.90	1990	21	3.0
2 田村水源	3.2	7.0	51.5	42.1	6.3	1.65	2000	1	1.2
3 河野第4水源	4.0	6.9	53.2	41.9	4.9	2.18	2007	4	2.5
4 北村No.4	14.0	4.3	70.9	27.6	1.4	1.25	1994	7	3.2
5 南市場No.5	17.7	5.8	63.0	35.8	1.1	1.17	1993	8	
6 浄化センター	8.7	6.4	58.2	39.5	2.3	0.28	1979	32	2.9
7 個人井戸 (M)	17.7	6.3	60.3	38.5	1.1				
8 個人井戸 (K)	5.1	7.5	51.0	45.1	3.9	2.64	2010	1	
9 個人井戸 (SD)	4.4	6.5	55.6	39.9	4.5	1.07	1992	9	
10 個人井戸 (S)	11.9	6.0	61.5	36.9	1.7	2.52	2010	1	

この辺の結果をグラフにあらわしてみたものがこの図になります。これが最後になりますけれども、こちら側が時間軸で、滞留時間が横軸になって、それに対応する年代を入れてありますけれども、こちらは時間で、これはその井戸に含まれていた窒素の濃度になります。赤丸で示したのが水源用の井戸、三角で示したのは個人のお宅の井戸、水になりますけれども、こういうふうな結果になっていて、最初は、というかつい最近までは、時間軸に沿った濃度の変化をあらわしているのかなと思って、傾向として右下がりだから、いずれ下がってくるんじゃないかというふうな見方をしていたのですが、どうもそうじゃなくて、例えば新しい、この5年ぐらいの滞留時間ということは比較的最近の状態を反映していると考えられるわけですが、最近の状態って2000年代に入ってからですが、もうそのころになると農業衰退して、もうある程度横ばいになっているので、この辺の井戸水に関してはもうあまり多分変化しない。それから20年ぐらい前の滞留時間を持った井戸がありますけれども、ちょうど1920年ぐらいまでと90年ぐらいになりますけれども、この辺は肥料の投入度が減り始めた時期ですから、この辺の、例えば高い値を示している井戸は、そろそろ減少のほうに向かってもいいかなというふうに考えているんじゃないかというふうに今では考えています。それから、この辺は32年という非常に滞留時間の長い、古い水という形になります。1980年ごろだと、まだ肥料の浸透が明らかになっていなかったので、まだしばらくこの辺の井戸は横ばいで推移していくんじゃないかというふうなことは読み取ることができるのではないかというふうに解釈しているところです。

というあたりで、多少短いですが、私の話は終わりたいと思います。





【加藤】 どうも興味深いお話をありがとうございました。皆さんのお手元に、最後のところに私どもが昨年、東城さんにご案内いただいて予備調査といたしますか、下見をしたときに、静岡大学のほうでも入りました。戸田先生と同じ結果で、大王わさび田の硝酸濃度はこのとき8.幾つ。

【舟橋】 今、先生が見ている、あの。

【加藤】 前のバージョンですか。

【舟橋】 いえ。お配りしているというか、皆さんに。

【加藤】 お配りしたんですね。で、結論言うと。

【舟橋】 別の資料の中に入っています。

【加藤】 大王は理解できるんですね。もうわさび田で既にしてしていることは間違いないだろう。ところが、ここから先は質問を先にさせていただいて恐縮なんですけど、松本市の湧水がなぜあんなに硝酸濃度が高いのっていうのが私の感じた疑問ですが、どこで。あるいは滞留時間が非常に短いんですかね。

【戸田】 松本のほうは年代測定ができていないんですけれども、安曇野のほうは北アルプスの扇状地になりますよね。この上で農地が展開していますので、そこ由来だったんですけれども、松本のほうは、奈良井川よりも東側っていうか、地名でいくと里山辺とか入山辺あたりの扇状地の末端に位置しているという感じで。

【加藤】 農地があるということですか。

【戸田】 ええ。ブドウ畑とか結構展開していますので、その辺にまかれた肥料が一部しみ込んできているのではないかとこのように考えています。

【加藤】 ご質問いただきながら、ちょっと申しわけないんですが、富士山のデータがちょうどコンパスなのがありますので出させていただきます。全く戸田さんのほうと似たようなことが言えまして、富士山の、ちょっと見にくいですが、山頂がありまして、このピンク色が茶畑なんです。これが規制値の、今、戸田さんがおっしゃった10ppmです。で、一般には富士山の

湧水はどこも硝酸汚染問題ないのですが、茶畑直下のここはかなり超過している。富士山の場合の、これは皆さんに復習といいますか、滞留時間、今ご紹介いただいたのと同じですね、SF<sub>6</sub>で測ったものなのですが、これは筑波大学のツジムラ先生のとこのデータですけれども、愛鷹から五、六十年、これは非常に興味深いのですが、その他全部15年以下という値が富士山の湧水では最近の結果として測定してでている。お示したように、条例がもうできているのですが、滞留時間が長いために一部茶畑の直下では富士山のほうでも過剰な状態が出ている。同じような。

【戸田】 なかなか反応までには時間がかかるかなという感じですよ。

【加藤】 最後に一言だけつけ加えさせていただきますと、脱窒という微生物作用で当然、硝酸態窒素は減衰していきますので、戸田さんがおっしゃったように期待はできるんですね。期待はできるんですが、滞留時間がかかってくるので、数年とか10年ぐらいかかるであろうというふうな状況です。

じゃあ、ご質問どうぞ。お願いします。三島先生、かつての卒検生なので、何か。

【三島】 特にありません。生物は廃業して長いですから。

【岩田】 よろしいですか。

【加藤】 どうぞ。

【岩田】 大気由来の窒素がどれくらい多いのかなということで興味があります。あと、窒素の同位体が高いこと、脱窒で解釈することも可能かなというふうに思うのですけれども、そのあたりの峻別の仕方といいますか、できれば。

【戸田】 2つ目のほうの脱窒の話で、可能性としてはあると思うんですけれども、基本的に脱窒の場合、多少、同位体比が高まってくる、残ったほうの硝酸同位体が高まるんだけど、度合いとしては非常に小さいのと、量としてはこの安曇野とか松本盆地あたりではあまり量的な脱窒を、見た目というか大きく収支を左右する脱窒は起きていないんじゃないかというふうに捉えています。一つの言いわけは、昨日も加藤先生、溶存酸素とか測っていましたが、湧水の溶存酸素濃度はかなり高い、飽和に近い状態で、好氣的。全体としては好氣的。だけど、嫌氣的にもなり得るのは絶対残るのですけれども、全体としては好氣的な状況ではないかと。

先ほど、豊丘村の事例を示したのですけれども、豊丘村の場合なんかは、私が解析した化学肥料と堆肥の割合の結果と、統計データで農協とか役場が集めた化学肥料、それから堆肥の量がありますね。結構一致しているんですよ。同位体で解かなくてもいいじゃないかっていう話になりますけど、逆に、それは同位体解いた結果がそこが当たっているということは、脱窒によってバイアスをあまり受けていないということの証明にもなるんじゃないかと思いますので、脱窒の影響はゼロではないと思いますけれども、それほど効いてこないんじゃないかというふうに思っています。かなりだから地下水になっちゃっていると、日本のような地下水状況では、そんなに

脱窒でもって濃度が大きく低下してくるということは期待できないというふうにも考えていいかなと思います。

もう1個、何でしたっけ。先ほどの。

【岩田】 大気由来の。

【戸田】 あ、大気由来のね。大気由来の影響はあるとは思いますが、実は省いたんですけど、先ほどこの長野県分布図をお見せしましたよね。で、東側のほうが若干高い傾向がある。長野県だけだと解析何ともならなかったんですけど、このとき実は、前、名古屋大にいて、もうやめちゃったんですけど、僕よりも若いコノヒラさんという、なかなか馬力のあるお兄さんがいてですね、もうおじさんになっていますけど、全国調査をやったとき、私も一部協力して、全国の渓流水を調べた一環だったんですけど、これを見てみると、全部で1,200点ぐらい渓流水を集めて濃度を測っています。見てもらうとわかりますけど、この赤っぽいほう、黄色から赤が濃度が高いところで、関東平野周辺とか、瀬戸内海、北九州あたりが濃度が高いという結果になっていて、長野県が微妙なところなんですけど、この辺の影響が多少でも出ているとすれば東側のほうが出やすいので、デポジションの影響かなというような可能性もあるかなとは思っています。

実は、今、岩田先生とご一緒のところにいるシンドウさんがデポジションは実測したんじゃなくて計算から求めたデポジションがNO<sub>x</sub>とアンモニアの発生量を推定して、それで大気間の負荷量を推定して、先ほどの1,200点の渓流水の濃度をプロットしてみるとこの結果になって、まあ、ばらばらなんですけど、とりあえず回帰浸透に引けば右上がりになるし、これ、R二乗が0.266という、とっても低いんだけど、1,200点もあると有意になるんですよ、これが。だからデポジションがあると渓流水のモードが多少上がる傾向が全国レベルで見れば見られる。なので、デポジションの影響は少しはあるかと思いますが、それでもって、だけど今回、安曇野のわさび田とか松本の湧水とか、あれで1ppm、2ppmなんていう濃度を上げるレベルにはとてもならないとは思っています。

【岩田】 ありがとうございます。

【加藤】 そうすると、岩田さん、甲府盆地が高いのは何か説明ができるんですか。今のだとかなり高いですよ。

【戸田】 甲府盆地ですか。

【加藤】 甲府盆地。山梨県が。

【戸田】 じゃないですか。

【加藤】 赤いじゃないですか。

【岩田】 これで見ると甲府盆地は赤と境界ぐらいですね。甲府盆地の河川水は今おっしゃっ

たような果樹園の影響が強いというのはよく話は聞きますけれども。

【加藤】 どうもありがとうございました。

じゃあ、竹門さん、最後の質問になるかと思いますが。

【竹門】 湧水の栄養塩が高い濃度を示すということは、柿田川でも実際高い濃度なんですけれども、それがどのぐらい生態系に対する、湧水でも生態系に対する影響をしているかという点が質問の趣旨なんです。というのは、柿田川において生態系の特徴は何かといたら、生食連鎖が卓越していると。それで一次生産が基盤となって系の特徴があらわれているというのが一つの結論にも私が調べたときからなっていたのですけれども、そうすると一次生産を抱えているのが、今までは、もちろん栄養塩というのは当たり前のもので捉えていたんですけれども、この結果を見ていると相当に人為的な影響で一次生産が高まっている可能性というのがあるのかなと危惧したわけでございます。

つまり、湧水生態系というのが本来持っている一次生産の質というのが、これが自然なものなのかという疑問がこれを見て感じられました。そうすると、例えば水草だとか藻類とかの生産が高いというふうに、窒素の高さというのがどのぐらい貢献するかですね。この場合、リンとの相対的な値として評価しないといけないと思うんですけれども。ですから、リン律速になっていたら、幾らこれが高くても必ずしも貢献していないということになるわけでしょう。そのあたりはどういうふうな評価ですか。

【戸田】 私は、リン律速になっているんじゃないかといっています。ちょっと今日持ってこなかったのですけれども、長野県内の系列の全域調査をやったとき、リンも一緒に測っているんですけれども、リンは基本的には低レベルで、こういうわさび田とか城下町湧水群の中でも、傾向分析した結果でそんなに持っていないのですが、それでも硝酸のような形の汚染はリンでは検出されません。リンは畑にまいても、基本的には沈殿物になってしまって、土壤中にトラップされてほとんど農地の下流あたりに出てこないのが一般的なので、リン濃度はそんなには引き上げられていない。下水とかが直接入ったら別ですけれども、肥料とか由来のリンはなかなか地下水には入りにくいんじゃないかと。だから、富士山なんかでも多分、リン濃度は低くなっていて、窒素だけ入ってきていても一次生産がそれに伴って上がるということはあまりないんじゃないかというふうに思いますけど。

【加藤】 その辺はすぐ後に岩田さんのほうから、この辺の研究の提案があるかと思います。

じゃあ、ひとまずこれで時間ですので、区切りにしたいと思います。戸田先生、どうもありがとうございました。(拍手)

— 了 —