

講演 2

森林の『メタボ化』を診断する



生態学研究センター教授 木庭 啓介

おはようございます。木庭です。

きょうのお話、今ご紹介いただきましたけど、僕は、今生態学研究センターというところにおいて、生態学者のつもりです。ただ、僕の専門は、いわゆる動物や植物が、どんな行動をしているかというようなところから行く生態学じゃなくて、生態系を丸ごと全部見てみようというようなことでやっています。

きょうは、人と森とのかかわりというのを考えるときに、我々人間が、どんなふうにも森にダメージを与えているかということを考えて、このテーマを選びました。

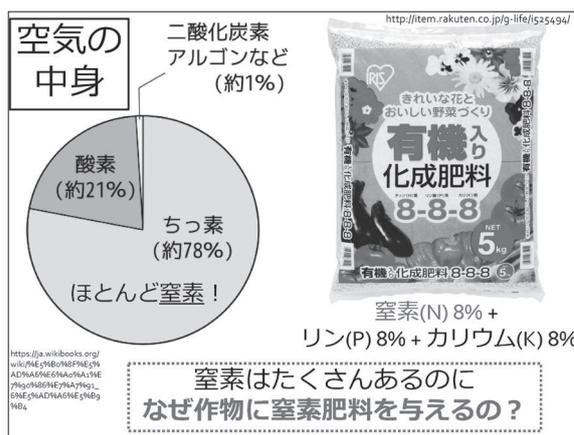
きょう伊勢さんが森の話をするので、僕も森のネタを持ってきましたけど、きょうのお話は、窒素というもので人と森のかかわりを見ると、どんなふうになるかなという話をできたらということなんです。

きょう覚えていただきたいのは2個だけです。窒素が足りないというのと窒素が余ってきたという、その二つだけです。それをお願いします。

まず、中学、高校で、理科または化学基礎とかで習ったと思いますけども、大気中には大量の窒素が含まれています。大体80%が窒素で、残りの20%が酸素で、あと、こちら辺のごみみたいなものが実は大事な二酸化炭素とか、そういうものになるわけですけども。

なので、地球には無尽蔵に窒素という元素があります。一方で、DIY ショップとかいろんなところで肥料が売られています。肥料に8-8-8と書いていますが、これは何を意味しているかというと、窒素とリンとカリウムという栄養分が8%、8%、8%入っているという意味だそうです。何でこんなに窒素がいっぱいあるのに、何で窒素肥料をまかなあかんねんというような疑問があるわけです。

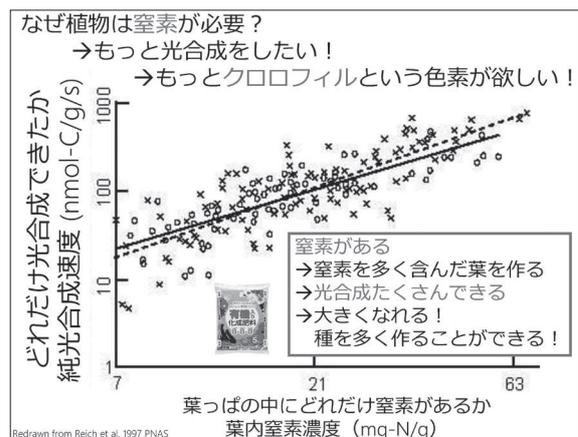
で、きょうのお話、植物の話をきょうしますけど、植物といえ、その大きな機能は光



合成です。中学校のレベルだと、植物が光とかを使ってでん粉をつくる働きですというので丸がもらえるわけですね。高校生だと、もうちょっと格好よくて、植物が光によって水を分解して酸素を発生して、二酸化炭素を有機物に固定する反応となります。きょうのお話は大学の話がちょっと入るので、きょうはここに養分、窒素というものが入るということのを頭に置いて、これからの話を聞いてください。

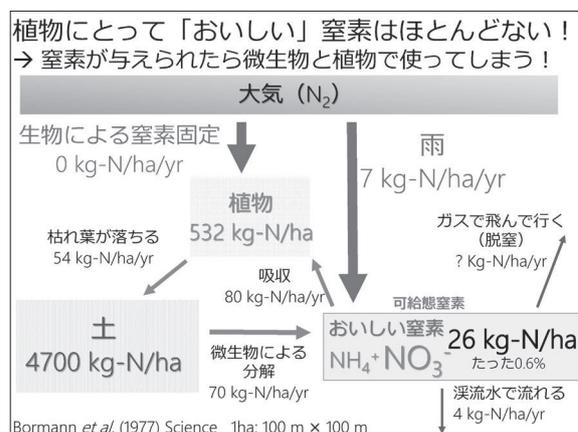
植物は光合成をするのに、今まで習ったように、光、水、そして適度な温度が必要なだけでなく、栄養が必要です。きょうの僕の話は陸上の話に特化しますが、後で出てくる宗林先生の話だと、海ではこういう話がどういうふう違うかというお話が出てくるかもしれません。

なぜ肥料をまくんですかという質問に僕なりに考えたのがこれです。このグラフですけど、横軸が、葉っぱをとってきてその葉っぱの中に、どれだけ窒素が入っているかという濃度になります。1グラムの葉っぱの中にどれだけの、ミリグラムの単位になっていますけども、窒素がありますかという濃度です。縦軸が、その葉っぱが実際に、どれだけ二酸化炭素を固定できるか、光合成をできるかという速度になります。ちょっと対数軸になっているので高校生には、ややこしいかもしれませんが、とてもきれいな関係があります。簡単にいえば、葉っぱの中に窒素がいっぱいあると、植物はいっぱい光合成できるということです。植物は、先ほど伊勢先生のお話でもありましたけど、大きくなりたいんですね。大きくなるのはなぜか、もっと光が欲しいとか養分が欲しいとかありますけども、子孫を残したい、そのためにはいっぱい光合成したいと、そういうときに葉っぱの中に窒素があればいっぱい光合成ができる。つまりは、窒素くれたら私は光合成して、もっと大きくなって、もっと種子を散布して、自分の祖先を残せるのということを考えているんじゃないかなというふうに思うんです。



なので、畑にいっぱい肥料をまいて、それで我々はたくさんの作物から豊かな実りをいただくわけです。

じゃあ、森はどうでしょうという話になります。こういう図、これは窒素循環の図と違って、理科とか生物基礎とかで出てきたかもしれません。大学で何が違うかという、高校までの生物基礎では、植物があつて何かがこのように回っています、という説明です。



ども、大学ではここにこのように数字が入ります。定量的に物事を見る、ということで、これらの数字を比べることで、どこが大きな流れで、どこが小さな流れかというのがわかるのです。ここで覚えていただきたいのは2個です。これはあるアメリカの東のちょっと寒いところの森林の絵ですけども、100メートル×100メートルの面積の土壌中に5トン近い、大量の窒素があります。植物と土壌の中でぐるぐるぐるぐる窒素が回るわけですが、実際にその植物や微生物が使えるおいしい窒素、ちゃんと言うと可給性の窒素というふうに言いますが、ここではアンモニウムイオンや硝酸イオンになります。これら二つは微生物が土を分解してつくってくれるものですが、それは本当に少ない量しかありません。土の中の可給性の窒素はたった0.6%しかありません。これでも多いほうです。僕がやっている北アラスカの本当に寒いところだと、土の中のおいしい窒素は0.01%もないのです。

なぜこんなに少ないかという、微生物が確かにこの二つのおいしい窒素を生産はしてくれますけども、同時に微生物も窒素が欲しいんです。生きとし生けるものは、みんな窒素が必要なので、植物が必要でも、微生物ももっと必要です。ということで、微生物は分解もしてくれるけど同時にこれを吸ってしまうので、この生態系の中で、実は非常に厳しい微生物と植物の窒素獲得競争があります。その結果、例えば、肥料をまいても、実は、ほとんどの場合その肥料の窒素は微生物が吸ってしまって、植物が吸えないということがよくわかっています。

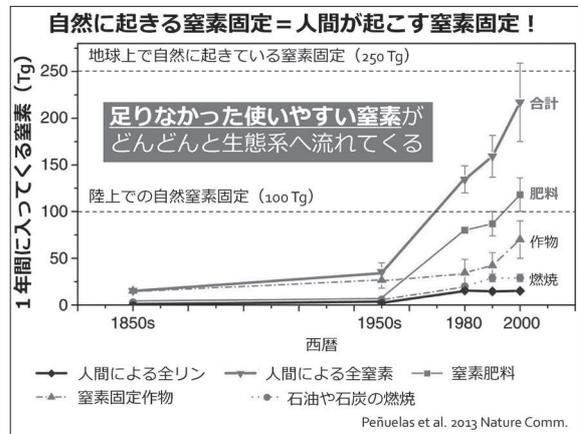
で、舌の根も乾かぬうちに、窒素が余ってくるという話をするわけです。皆さん、特に若い方々は、21世紀、これから長い間生きなければなりませんけども、19世紀から20世紀にかけて、人間はさまざまな形で、この地球というものに影響を及ぼしてきました。

例えば、我々が乗る車や工場から出てくる煙ですね、あの中には窒素酸化物、NO_xというやつがいっぱい含まれています。それが大気に上がって雨で落ちてくるということで、実は、我々、石油や石炭といった化石燃料を燃やすことで大量の窒素を上空に上げて、それが意外と使いやすい形、ノックスというのはNO_xと書きますが、そういうような微生物が使いやすいような形で雨に乗って落としてくることがわかっています。

それだけじゃなくて、よく知られていることですけども、1900年代初頭にハーバーとボッシュが革命的な技術を発明しました。無尽蔵にある大気中の窒素から、多くのエネルギーを使ってですけども、アンモニアというガスに大気中の窒素を変換することができるという魔法のような技術を発明しました。これによって、最初にも申し上げました、大気中に無尽蔵にある窒素から、このアンモニアというものをつくることができます。第1次大戦の間は、これをさらに酸化して、先ほど言った硝酸のような形にすると爆薬に利用できます。ですので、この技術により戦争が延びてしまったとかいうことがあります、一方で、このアンモニアというものは、いろんな形で肥料にもなります。これによって、我々

地球上で人類は食物生産をものすごく大きくすることができました。足りなかった窒素をこのハーバー・ボッシュ法によって、大量に、しかも今では安価に、肥料として使うことができるようになりました。すばらしいことです。

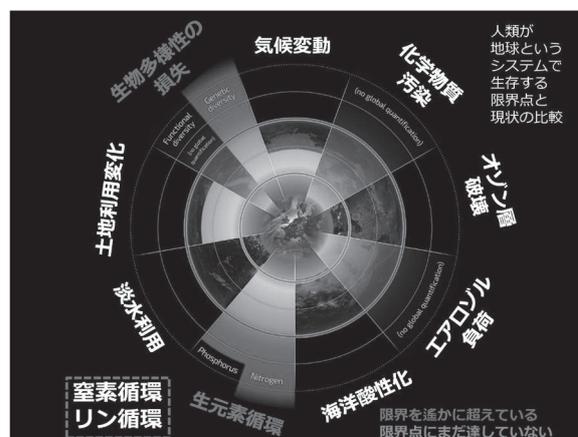
70億人になってしまうような人類というものをこのハーバー・ボッシュ法による窒素肥料が支えていることは事実なのですが、実際にはどれくらいのことになっているのも事実です。このグラフは、横軸が1850年代から2000年代までの年をしめして、縦軸が地球上で、どれだけ窒素が使いやすい形で地球の表面に降ってくるかという速度になります。テラグラムというのは、見たこともない、大きな量をあらわす単位ですけど、まあ見ておいてください。昔々は降ってくる窒素はほとんどありません。陸上で窒素固定という窒素の三重結合をものすごいエネルギーで切って、アンモニアに自分で替える生物がいます。マメ科植物と一緒にいる根粒菌とかが有名ですね。ああいうものがやっている窒素固定が年間100テラグラムぐらいだろうとされています。海洋はもっと広いので、海洋の窒素固定も全部ひっくるめると、まあ地球上で年間250テラグラムぐらいになるんじゃないかと言われています。



足りなかった使いやすい窒素がどんどんと生態系へ流れてくる

今まで窒素が足りなかった生態系で特殊な微生物は細々と頑張っていて、すごい大量のエネルギーを自分で使って窒素固定をしてきたわけです。ところが、化石燃料を燃やしたり窒素固定をする作物を増やすだけでなく、このハーバー・ボッシュ法による肥料というものを我々は生態系に大量に投入しています。それを全部合わせると、これ、今2000年の段階で一番高い推定を見ますと、我々人類は、微生物による窒素固定と同じだけの速度で地球上に使いやすい窒素、足りなかった窒素を供給していることになります。

ちょっと大きな話に移ります。地球環境問題というものに関心をお持ちの方はたくさんいらっしゃると思います。これは、スウェーデンの研究者がリードして、2009年と2015年に、地球環境問題にはどのようなものがあるか、そして、それらの現状を把握して、今まずいのはどれかというのを査定したグラフになります。これもちょっと覚えておいていただければいいと思います。気候変動、



化学物質の汚染とか、オゾン層の破壊、エアロゾルの付加、海洋の酸性化、淡水利用の変化。土地利用の変化、生物多様性の損失。で、今回の話は、生元素と書いていますけども、

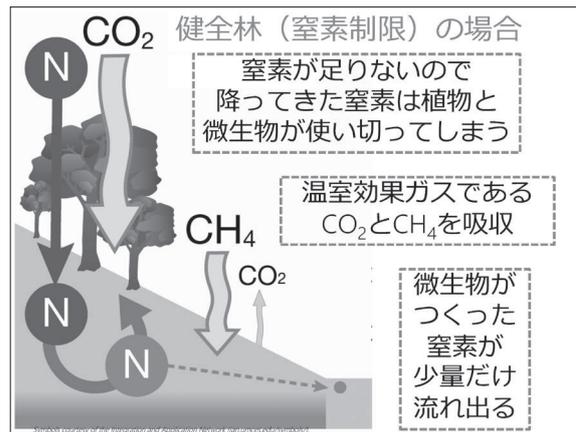
窒素というものの循環になります。地球の中に丸が書いていますけども、緑の丸のところは、まあ何とか人類と地球がやっているとあるだろうというもので、黄色はちょっとまずい、赤はむちゃくちゃまずいというものを示しています。残念ながら、こう挙げてはいるものの、わからないことがいっぱいあるので何も書いてないものとかありますけども、ここで注目していきたいのは二つです。むちゃくちゃ赤いのが二つありますね。一つは生物多様性の損失です。人間の活動によって地球上からものすごい速度で種が損失していることは皆さんご存じだと思います。この速度というのは今までの地球の歴史を振り返ってもかなり速いので、まずいでっせと言っています。もう一つ、あまり知られていないんですけど、生元素循環です。Nitrogen というのは窒素です。横が Phosphorus とあってリンなんですけども、これもまずい。先ほど見せたグラフのように、こんなに地球ができてから窒素が生態系に降ってくるなんてなかったんです。例えば、気候変動について考えると、もちろん今、温暖化が進んでいます。ですが、昔も温暖化だったころもありますし、寒冷化したころもありました。昔をひもとくと、何とか宇宙船地球号の軌道を修正することができるかもしれません。ただ、この窒素については誰もこんなこと知らないんですね。この足りなかった使いやすい窒素が、どんどん生態系に流れてくる状態、こんなことは地球が 46 億年の中でなかったことなんです。昔の地球のことを研究してわかるかといっても、こんなことはいままでないのでわからない。なので、この窒素循環というのは、実はあまり知られてはいませんが、ものすごい大きな問題で、これから、しかもどうなるか全く予想がつかないというのが現状なんです。

今申し上げた窒素が足りなかった状態から窒素が増えた状態というのを人の健康に例えてみると、メタボリックシンドロームというものがありますね。昔、特に日本では、戦後カロリー、エネルギーが足りなかった状態から今の飽食の時代になって、僕も、ちょっとぶよぶよしてきている。森林も窒素が足りないと教科書ではずっと書いていますが、窒素が足りなかった森林にいっぱい窒素が降ってくるとどうなるのかということを考えなければいけない。日本の森ではあまり肥料をまきませんので、雨によってももしも窒素が降ってきたらどうなるのかということが考えられるわけです。

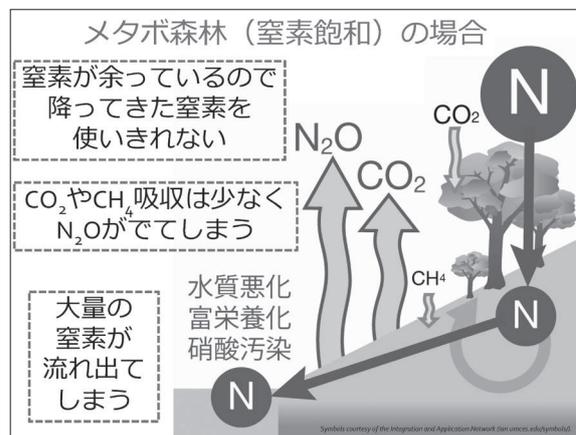
実際に、1980 年代、90 年代ぐらいから、ヨーロッパ、欧米で、日本でもこの窒素がいっぱい降ってきて、窒素が足りないと教科書でも書いていて、みんなそう思っていた森林が、もう窒素は要りません、もういっぱい下に流しちゃいますという状態になっているということがいわれ始めました。これを格好つけて「窒素飽和森」と言いますが、実は、日本の多くの森林で窒素飽和しているんじゃないかというような懸念があります。足りなかった窒素が、もうだぶだぶになってしまったんです。これを先ほどの話と関連すれば、まさに森林がメタボ化しているというふうに思われるわけです。

ちょっとおさらいしますね。教科書的にはこうなります。森林というのは、先ほど伊勢先生から森林の機能というのがいっぱい出てきましたけども、物質循環のほうでいうと、

二酸化炭素という温室効果ガスを光合成によって森林は炭素をためてくれます。伊勢先生はこのメタンというものについてもすごく世界的に重要な研究をされていますが、この温室効果の強いメタンというガスも、実は森林土壌は吸収してくれます。そういう微生物がいます。なので、森林はこういう温室効果ガスを吸ってくれるし、雨の汚い窒素もちゃんと吸ってくれる。もちろん、植物と微生物の間で窒素が回って、この新しい、緑で示していますけども、緑の窒素が少しは出てきますけども、基本的に窒素は足りないの、あまり出てこないということが教科書では書かれています。



一方で、じゃあメタボになるとどうなるか。窒素がいっぱい入ってきますけども、余っています。だから、誰も使わず大量に流れていく。CO₂も森林が傷んでしまうのであまり吸わなくなります。メタンも吸わなくなることも知られています。もう一つは、窒素が回るときにN₂Oというガスがでてきます。これ、あまりご存じないかもしれませんが、一酸化二窒素と言いますが、麻酔で使うガスです。このガス、実は温室効果がCO₂の300倍以上あるだけじゃなくて、現在、地球のオゾン層をもっとも強力に破壊しているガスです。これも出ちゃう。なので、今まで森林は二酸化炭素もメタンも吸ってくれていたのに、メタボになったら、二酸化炭素は吸わないわ、メタンも吸わないわ、N₂Oは出るわ、窒素は下に流すは、もうええこと何もないと、世界中でこれは困ったというわけですね。



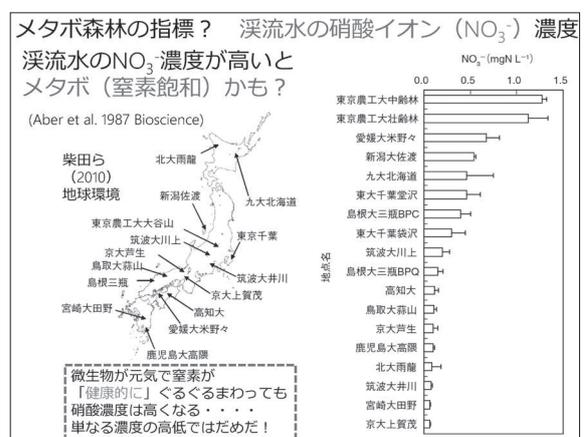
でも、じゃどうするのという、ということで、まずどれぐらいみんなメタボっているか調べましょう、と。これはもう人間と同じですね。調べるのはとても大変なので、僕みたいな中年男性は健康診断に行くとおなかを測られます。おなかを測って、ちょっとぶよぶよしているから、もうちょっと精密検査をしましょうかと呼ばれる。そういうファーストスクリーニングをされます。同じように森林

森林のメタボ（窒素飽和）どう診断する？

- どれだけはいるか（インプット）
- どれだけ出るか（アウトプット）
- どれだけたまるか（蓄積量）
- 土壌
- 長期間にわたる観測が必要 → とてつとてたいへん！！！！

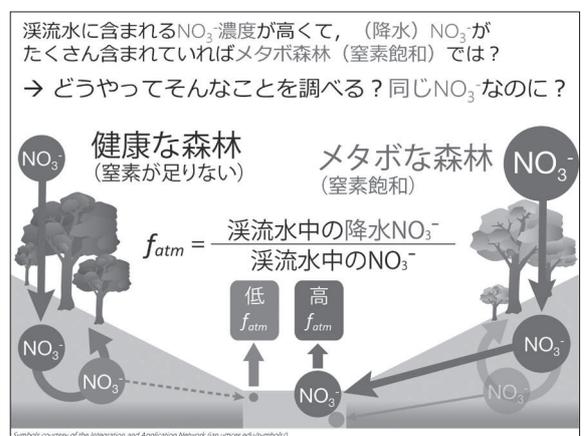
でも、メタボになっているか調べなあかんでしょうということを考えるわけで、世界中でやっています。ところが、これがむちゃくちゃ大変。入ってくるもの出ていくもの、人間でいえば食べるものとおしっこを測ればいいんですけども、森林でむちゃくちゃ広いので、大変なのです。森林に降ってくる雨というのは、1週間に1度とかの頻度で集めて、雨の量やそこに含まれている窒素の濃度を一生懸命はかるわけです。渓流水も普通の川水じゃだめなんですね。源頭部まで行って、森林の中で湧き出てくる水が森のいわばおしっこなのでそれを測らなければいけない。これを1回やればいいわけじゃないんです。森林はすごく大きくて、そこでの窒素の動きにはいろんな季節変動、そして年変動があるので、最低でも10年とか、長い期間やらなければいけない。そんなお金はなかなか実際にはなくて、本当に今どれだけ森林に雨が降ってきて、窒素が降ってきて、どれだけ流れていくかというのを測るのが、とても難しい状態になっています。

日本の大学というのは、さまざまな森を持っているので、北から南までいろんな森で研究がなされています。これは、森から出てくるおしっこにふくまれる窒素の中で一番多い形である硝酸イオンの濃度を示しています。濃度が高いところから低いところまであって、先ほどの伊勢先生のところの芦生は結構低いんですね。低いからいいか、高いから悪いかというと、実はそうではありません。若い森林、年寄りの森林、広葉樹、針葉樹、傾斜がどうこう、実はこの濃度の値ってそのよ



うような要因で全然変わってしまいます。メタボの診断も男性、女性、男性でも年齢でその基準が違うように、これだけ高濃度で流れているからメタボですよ、ここは流れてないからメタボじゃありませんというのは、単純すぎます。こんな簡単な考えではだめで、もう一歩、もう二歩難しいことを考えなければいけないというふうに思うわけです。

そこで世界中でみんな考えました。何かないのかということで、あんなこといいな、できたらいいなというふうにいるいろいろ考えるわけですね。その硝酸イオンというおしっこでもっとも多く出てくる窒素を考えます。健康な森林は、雨で硝酸イオンが降ってきて、植物や微生物が、窒素が足りないの使ってくれます。使って、たまたま微生物がつくった緑の硝酸イオンが、あれっというふうに流れることはあるだろうと。これは普通の健全な森林です。で、メタボであれば、雨で降っ



てくる硝酸イオンがそのまま流れるであろう。いっぱい降ってくる硝酸イオンで微生物が元気になって、いろんな緑の硝酸イオンもつくるから、それもいっぱい流れてくるけれど、そこには雨の硝酸イオンがかなり含まれるだろう。もしもですよ、もしもこの雨の硝酸イオンとこの微生物がつくる普通の土の中にできる硝酸イオンの区別ができれば、同じ NO_3^- というイオンですけど、区別がもしできるのであれば、これの割合を測ればわかるんじゃないか。ここに f_{atm} と書いていますけども、渓流水中に硝酸イオンがある、それはいいとして、その中でどれだけ使い切れなかった雨硝酸イオンがありますかという割合を f_{atm} として、もしもこれが測れたらいいんじゃないかというふうに世界中でみんな考え始めた。

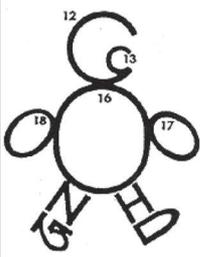
でも、こんなのどうやって測るのよ？という話。そこで、きょうのお話は、安定同位体の話になります。これは、化学の基礎で習ってるはずですね。きょうのお話は、窒素の 14、15 と酸素の 18 と 16 というものを使います。これ、放射性同位体ではなくて安定な同位体です。これ、僕の先生が書いたアイソトープマンなんですけれども、もし皆さんの体重が 50 キロであれば、そのうちにこの

そこで・・・安定同位体の利用！

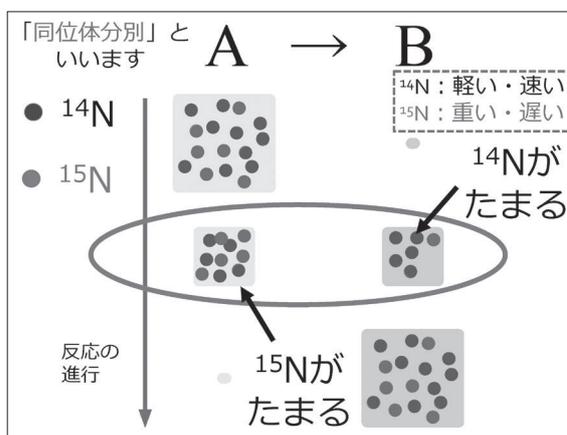
^1H	^{12}C	^{14}N	^{16}O	^{32}S
^2D	^{13}C	^{15}N	^{17}O	^{33}S
			^{18}O	^{34}S

放射性同位体とはちがいでどんな物質ももっているありふれたもの

50kgの体重なら
225gが「重い」同位体
みなさんそしてすべてのものが
含んでいるものです



赤い、あまり見たことがない同位体は 225 グラム入っています。安定同位体は皆さん誰もが持っているごくごく普通のもので、高校では、こう習うはずで、 ^{14}N というものがあります。 ^{15}N というものがあります。同じ窒素ですけども中性子が 1 個違います。その割合というのは、こちらが 99.6% で、こちらが 0.37% です。酸素でいうところだと、 ^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O とあって、中性子が 1 個多かったり 2 個多かったり、でも、これは、 ^{16}O も ^{17}O も ^{18}O もみんな酸素です。普通に酸素が反応するのと同じ反応をします。高校までは、ここでおしまいなんです。 ^{14}N が普通の窒素の同位体が 99.63% あります。 ^{15}N って、変な、中性子 1 個分だけ重たい窒素が 0.37% あります。そこでおしまい。でも、ここは大学なのでそうはいきません。実は、皆さん一人一人、この 0.37 の下のほう、実は 0.366・・・パーセントですけども、この・・・パーセントが皆さん一人一人必ず違います。これが肝になります。何で違うかということですが、簡単にいうと、 ^{14}N は中性子 1 個分だけ軽いんです。だから先に反応します。 ^{15}N は中性子 1 個分だけ重いので反応が遅いんです。なので、ある反応 A



からBというものを考えるときに、Aの中に ^{14}N と ^{15}N がある割合であって、それがBに行きます。AからBが完全に反応が進めば、反応物Aの中の ^{14}N と ^{15}N の割合は、生成物のBに最終的に乗り移りますが、その反応の途中だと、生成物のBのほうに軽い ^{14}N が先に来ます。 ^{15}N は重いので、反応物Aに残っちゃいます。このように、同位体の反応がすこしずつ異なることを簡単にいうと「同位体分別」と言いますが、これが皆さんの体の中、太陽系の至るところ、物理化学的なほとんど全ての反応でこれが起こります。なので、極端な話、皆さんが食べたものがどこで生産されたか、皆さんの体で、どんなふうに代謝されたかで、皆さんの体の窒素の同位体というのは実は一人一人違います。

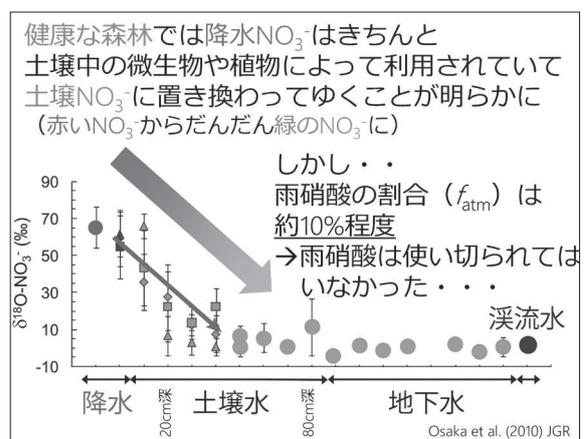
今からの話で、この ^{15}N とか ^{18}O という、本当に少ない0.37%か0.2%しかないものの濃度を測定するのは非常に難しく、その表記も細かい数字になり大変なので、デルタ ^{15}N とかデルタ ^{18}O という表記を世界中で使っています。しかし、今回覚えていただきたいのは、このデルタ値が大きければ、この赤い、あまりない重い同位体が多いのだ、「重い」のだ、いうふうに思っただけであればいいです。値が大きいほど重いめったにない同位体がたくさん含まれていると思っ、これからの話についてきてください。

今月出た、多分本屋さんでも買えると思いますが、『現代化学』に僕も寄稿していますが、例えば、こんなふうに使います。牛肉を持ってきて、これはアメリカ産ですか、オーストラリア産ですか、国内産ですかと見ても、実はよくわかりません。遺伝子を計ればいいじゃないというんですけど、実は遺伝子でもわからないことがいっぱいあります。しかしその牛肉のたんぱく質の炭素の同位体、 ^{13}C が多いですか、 ^{13}C が少ないですかというものを横軸に、有機物の中の酸素の同位体、 ^{18}O が多いですか少ないですかを縦軸にとると両者は分かります。牛さんが、どんなものを食べているかで、炭素同位体比の軸は変わります。実際にはトウモロコシを食べてるか、小麦のようなものを食べているかで違いが出ます。縦軸の酸素同位体比は、どんな水を飲んでいるか、実は住んでいるところの気温の影響がみえてきます。値が大きいとあったかくて、値が小さいと冷たいというような違いがあります。このように同じ有機物、または同じたんぱく質、さらには同じ窒素、炭素でも、このように色をつけることによって、さまざまな物質の動きを追跡することができます。この本で僕は有機野菜と有機野菜じゃないものを判定するというのも寄稿していますが、全然違うものでも、この同位体を使います。僕らの研究だと、35億年前にどんな微生物が窒素代謝していたかというのを岩石の窒素で計ったりとか、マリアナ海溝の一番下にいるやつは、アンモニウムイオンというのをを使って生きてるとか、全然違うものについても、この同位体というのは使います。とにかく元素に色をつければいいというだけなんです。

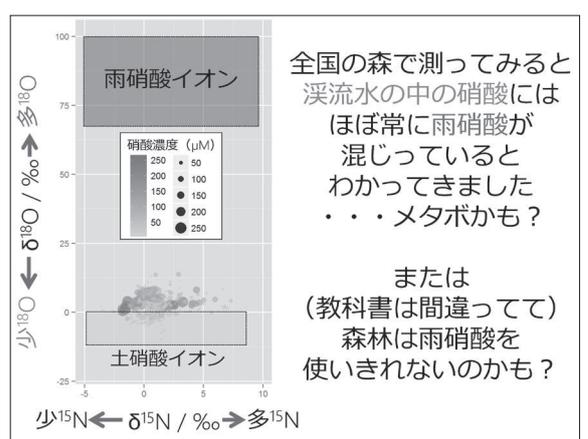
きょうのお話は、じゃあ、あのおしっこに色をつけようという話なんです。これが硝酸イオンの窒素の同位体と酸素の同位体のマップになります。横軸は ^{15}N が多いか少ないか、縦軸は ^{18}O が多いか少ないかと思っってください。詳しい話は大学院にならないとできま

せんけども、簡単に言えば、雨の硝酸イオンと土の中の硝酸イオンは物のでき方が違います。雨の硝酸イオンは大気中のオゾンが関連してできます。土壌の中の硝酸イオンというのは微生物が土の中の水と酸素の酸素原子を使ってできます。なので、もともとのいわれが違うので、同位体比が全然違います。窒素はあまり変わらないですけど、酸素がすごく変わることがわかっています。なので、じゃあ、おしっこを測れば、つまり渓流水の中の硝酸イオンの酸素同位体比を測って、それがこの高い値、赤っぽい値であれば雨硝酸イオンが出ているやんか、緑っぽい低い値であれば土から出てるやんかということがわかる。これで初めて、先ほどできるかなといっていた、同じ硝酸イオンというものに色をつけて区別することができるようになったということになります。

実際に、これは、ある森林でやってみた例です。左側が雨で、雨がだんだんだんだん浸透して行って、土壌の中の水になり、地下水になり、渓流水になりということを、3年間ずうっと土の中の水を取りまくって測定します。縦軸が酸素の同位体なので、これが高ければ雨っぽい、低ければ土っぽいということなんです。確かに最初は雨なんです。雨が土の中をこう行く間に、雨の硝酸イオンが使われて、微生物が新しい緑の硝酸イオンをつけ加えて、赤がなくなって、緑がつけ加わり、だんだん赤から緑にこうなっていくことがわかります。それがそのまま渓流水になったことがわかる。ああ、なるほど確かに森林の中で植物と微生物が硝酸イオンを使って、また新しい硝酸イオンができていくんだということがわかりました。



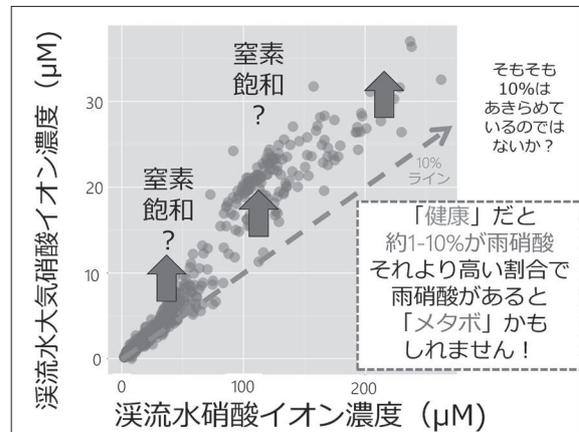
この測定は、今までだと 10 リットルの水が必要でした。僕は体力があったので、牛乳パック 10 個分の水を集めて 1 つ 10 リットル、牛乳パック 10 個分のサンプルをとってききましたが、それだとらちが明かないんですね。そこで、内閣府からお金をいただいて、測定のやり方を改良して、今では 10 ミリリットルで計れるようになりました。それで日本中の研究者にお願いして、水とってきてく



ださい、測りましょうと言って測った例がこれになります。横軸が硝酸イオンの窒素の同位体、こちらは見なくて構いません。縦軸が酸素の同位体になります。雨が上の四角の範囲、土が下の四角の範囲で、渓流水硝酸イオンのデータは丸で示されています。メタボのもう一つの指標として硝酸イオン濃度を丸の大きさと色の濃さ示していますが、意外と土

硝酸イオン 100%ってのはないと。必ずと言っていいほど実は雨硝酸イオンがまじっているということがわかりました。えっ、何でって、教科書ではそう書いてあって、僕は授業でそう習いましたって、何で窒素を使い切れないのというふうに思うわけです。

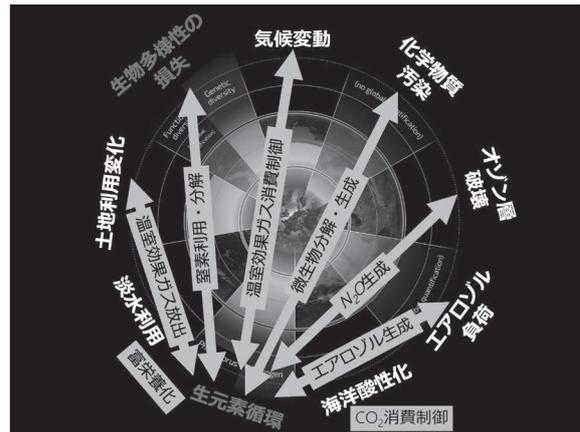
もうちょっとまとめてみると、こんなふうになるわけです。横軸に渓流水の中にどれだけ硝酸イオンがありますか、縦軸にその中に、どれだけ雨硝酸イオンがありますかというのを見てみると、こういう何かきれいな関係があって、中のラインが 10% です。渓流水の中で雨硝酸イオンが 10% 残っているとなります。教科書ではこれがゼロと思ってたんですね。でも、そんなことはなくて、10% ぐらい、この地球上ではもしかすると森林って窒素が使いえないのかもしれないということがわかってきました。もしかすると、地球上だと植物や微生物はもう 10% は諦めてしまっているのかもしれない。



これは大発見だと思って、それこそ京都からの発信と思っていたんですが、科学者としては、ここでこんな簡単ではまずいわけです。もう一頑張りしないとまずい。なぜかという、我々の住んでいるアジアモンスーンというのは、やはり世界的に見ると地形として、とても特殊です。アメリカとかでは、やっぱり大陸系なので、なだらかで森林の水もゆっくりと流れてきます。そして、雨の降り方も、我々のような台風があるわけじゃないので、全然違います。夏に、生物活性が高いときに、いっぱい雨が降ってくる我々のところと、夏ではなくて冬に結構雨が降るようなアメリカ、ヨーロッパでは全然違うんですね。こういう研究って、やっぱりどうしてもアメリカ、ヨーロッパの影響がすごく大きくて、我々が読んでいる教科書も、みんな英語の教科書で、しかもアメリカ、ヨーロッパの知識に立脚しているので、これにけんかを売って出るのはなかなか難しい。こんなことを言っていると、アメリカの研究者から一緒にやりましょうというふうに言ってくれたので、じゃあ、もう一回考え直してみようということ、今みたいなデータを考え直しました。

いろんな研究を集めてみんなでまとめたのは、まあ雨硝酸イオンの割合はゼロはないと、みんな使い切ることはなさそうだと。でも、高いときも低いときもあるし、これからとりあえず、我々として、科学者として提案するのは、まず 10% で見ましょと、10% 流れるかもしれません。でも、10% よりも超えたら、これはメタボかもしれないから、もっと研究しなければいけませんよというふうに世界中で研究していきましょうというふうに、今コンセンサスを得て、こういうものを提案しようというふうに考えてきているところです。なので、アジアモンスーンだけじゃなくて、世界中でも、こんな 10% 流れちゃうということはあるそうだといいところまで今来たことになります。

もう一回戻りますね。今お話ししたのは、この生元素の循環という話でした。とっても小さい話かもしれませんが。なんですが、この生元素の循環というのは、さまざまな地球環境問題とすごく密接にリンクしています。例えば、オゾン層破壊とか、先ほどのN₂Oというガスがオゾン層を直接破壊しますのでもまずかったり、多様性が失われると生元素循環が変わり、そのことでまた多様性も



っと失われるということが最近わかってきています。なので、この私がやっている生元素循環というのは一つのトピックかもしれませんが、それから、さまざまな研究者とリンクすることで、地球というものの環境問題をもっと包括的に、先ほど伊勢先生の話でもあるように、もっと多面的に見ることができるはずですし、今回お話しした安定同位体というのは、その中でも特に人間によって、どんなような影響が起きているかというのを、自然界でも起きている現象にさらにどんな負荷がかかっているかというのを、色をつけることで解析できる可能性がとても有効なツールだというふうに考えています。

このように、環境問題に対しては一元的じゃなくて多面的に見ていくということが世界中でも始まっていますし、京都大学でもフューチャーアースというようなプロジェクトで、自然科学だけじゃなくて社会科学、特に今回の人間活動によって、どんなふうに森林がダメージを受けているかということなので、人間も含めた形で、こういう多面的な研究が進んでいくというふうに考えています。

最後ですけども、きょう持ち帰っていただきたいのは二つです。何か変な話ですけども、まず、窒素はもともと足りないんです。足りないから我々まくんです。まくのはなぜかというと、植物が窒素を必要だからです。光合成したいから。だけど、我々が近年大量にその窒素を供給していて、生態系はどえらいことになっているということになっているということです。教科書で言われていたように、森林は使い切るといわれていながら、最新の研究だとそうではないと。だから、教科書で書いてあることをもう一回練り直して、いろいろ考え直さなければならないというところまで来たという話になります。

いろいろ行ったり来たりしましたが、これでおしまいにしたいと思います。

どうもありがとうございました。