

講演

大根島の地下水 — 淡水レンズをめぐる問題点 —

熊井久雄*

Groundwater on Daikonjima Island: problems with the freshwater-lens

Hisao Kumai*

中山勝博さんが亡くなったとの報に接したのはちょうど越前海岸で学生実習をしている最中でした。すぐに飛んで行きたかったのですが、学生さんを放って置くわけにもゆかず、失礼してしまいました。学生指導にことのほか熱心だった中山さんなら許してくれそうな気もしました。その後、木村純一さんから、この追悼論文集の計画を聞き、かつ投稿を進められましたが、なかなか筆が進まず、ついに断念してしまいました。中山さんには再度にわたる不義理になってしまいました。ところが、徳岡隆夫さんから、去る 1999 年 6 月 17 日に島根大学で開催された、中海の干拓計画に関する『第 33 回汽水域懇談会』で話した内容を掲載したら、というお誘いをうけ、かつ親切にもそのおりのテープおこし原稿の整理したものを送っていただいたので、これを逃すわけにはいかない、と思い、急遽手を入れました。したがって、内容はやや冗長な普及講演記録というものですが、中山さんの活躍の中心であった松江市でのことですので許していただけるのではと思います。

この機会を与えていただきました徳岡隆夫さんと木村純一さんにお礼申し上げますとともに、故中山勝博さんのご冥福を祈ります。合掌。

はじめに

御紹介いただきました大阪市立大学の熊井です。大分前から徳岡先生に大根島の地下水についてのことでお話をお伺いしたり、資料を見せていただいたり、時には相談に乗ったりしていましたが、いま中海干拓計画が重要な峠にさしかかっているところとのことで、講演を依頼されました。すでに徳岡さんがお話ししていることですので、皆さんよくご存知のことを、繰り返すことにもなりますが、私なりにみた大根島の地下水についてお話をさせていただきます。配布しました資料の順でお話して、最後にこの地下水を保全するにはどうしたらいいかということ私なりに考えてみたいと思います。結論からいいますと、いまの状態を残しておくのが一番いいのですが、それはそれとして、なぜそうなのかということを中心にお話したいと思います。本題に入る前に、実は私はこれと同じような問題にあちこちで遭遇していますので、その 1 つをまず紹介します。

溶岩を掘って大出水

もう 30 年も前のことですが、当時の国鉄、いまの JR が、中央東線のショートカット工事をしようということで、岡谷市から直接塩尻市へトンネルで抜くという計画を立てたのです。当時私の先輩で信州大学にいた先生が調査をしまして「このトンネルの場合には問題はない。なぜならば、このトンネルは両端が古生層の砂岩や頁岩という硬い岩石できていて、その中に 100 万年以上の古い溶岩が詰まっているから、大丈夫

*大阪市立大学大学院理学研究科

だ」と言ったらしいんです。その後私が信州大学に転任した時に、工事が始まっていました。トンネルの入り口のところは確かに固い砂岩と頁岩ですから、掘り進んでも水はちょろちょろとしかでてきません。ところが古生層を掘抜けて溶岩のところに入ったとたんに出水を起こしたんです。ボーリングをしていて機械ごと流されるということがあって、これは大変なことだということで改めて私らが呼ばれました。「これはどうしたのか。信州大学の前の先生はこれを大丈夫だと言ったのに」ということでした。実際には溶岩の中には地下水は非常にたくさんあるということで、私自身はそれより前に八ヶ岳の溶岩の中の地下水のことをやりましたので、気づいてはいたのですが、改めてこういう社会的な問題になりましたので、大変でした。このことがあってから5~6年の間、このトンネルを掘っていくとどうなるかという調査とそれにもとづく予測をやってきました。何よりも大変なのはそのトンネルの上には集落があって、田んぼや井戸がある。もともと井戸があるようなところには水があるのだから、下を掘ったら水が出るということはすぐわかるものですが、そこまで考えが及ばず、硬い溶岩だから大丈夫だと考えてしまったわけです。そこで、まず最初に起こったことは、村にある井戸が全部枯れてしまったことです。村の人は困るわけです。トンネルからは大出水で水がざあざあ出てくる。もう一方では、田植えの水どころではなく、自分たちの飲み水がなくなってしまう、ということでした。結論としてトンネルから出ている水が、最終的にどのくらいで落着くかを計算して、その一部をもとのトンネルの上にある盆地の用水に使うという計画にしました。トンネルから出てくる地下水は最初はダブッと出てくるのですが、そのうち少なくなって、一定になります。その一定になる量を計算して、その量を上に送ると言うことで解決しました。そのときに、何回か集落の集会に行きまして、水が枯れてしまった家の方々からいろいろな質問を受けました。ここでは私も考えてなかったことがいっぱい出てきました。1つは、地下水が流れ出てしまうと、うちの田んぼだとか、山の木だとか、枯れやせんだろうか、と言う心配です。これを聞きまして、なるほどなと思いました。それで、今日はその辺の話も含めて、そういう心配はないこと、それはなぜか、雨が降って大根島の地下水がどのように浸みこんでいくのか、といったところを中心にお話します。それから溶岩の中の地下水の特徴をお話し、溶岩の中の地下水の保全策としていろいろ考えられていることはどうなんだろうというところで話を締めくくりたいと思います。

降水の浸透

先ほど例として言いましたが、トンネルの上に住む人々が心配していた田んぼや井戸の水が、あるいは林の木が枯れるのではないかということに対しての答えと言うか、解説をします。これは同時に大根島の、すでに有名になっています淡水レンズの地下水の入り方でもあります。地上に雨が降ったとき、おしめり程度の雨だったら、畑の中の水が流れることはないことは、大根島の人によく御存知だと思いますが、みんな浸みこんでしまいます。便宜的にこの地表に雨が降って、いっぺんに水が溜まったと仮定します。そうするとこの地面からこの水は浸みこんでいきます(図1)。図の黒丸は泥の粒子、あるいは砂粒だと思ってください。

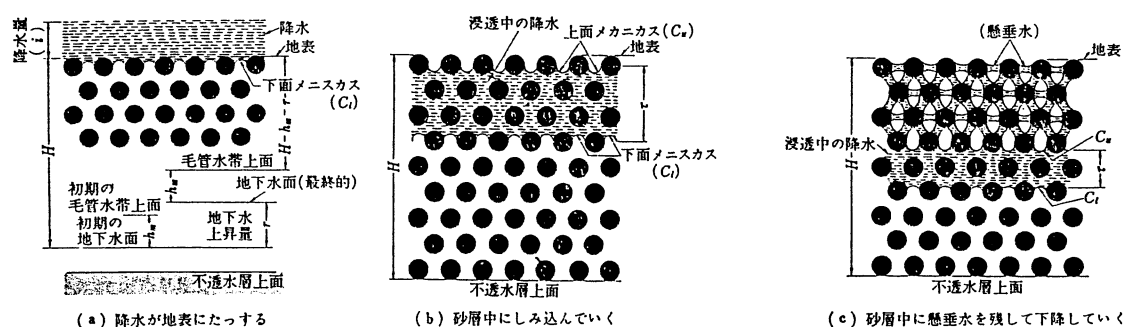


図1 地表からの浸透のメカニズムモデル (水収支研究グループ, 1973)

ここを浸みこんでいく途中で、じつはおいてきぼりの水がでてきます。これを懸垂水といいます。ちょっとぶらさがってるようなので、こう呼びます。ちょうど皆さんが、栄養ドリンクを飲む時に細いストローでチューと吸うと、その中に少しだけ残ります。あれはそのままにしておいても、なかなか下がってこないのです。これは毛管水といいます。細い管の中では重力で落ちない水が残るのです。この水が下に落ちないのは表面張力のためです。ガラスの上などに水滴を落とすと丸くなります。あれは水自身が、表面積を一番少なくしようという働きをするからです。たとえばガラスの管に水を入れておくと、水の表面はガラスとの接面で少し盛り上がりが見えます。これも表面張力です。これと同じように細い隙間には水が引っかかるのです。懸垂水はふつうの状態では下へ落ちていきません。こういうのを残しながらずっと地下へ浸透していきます。大根島で言いますと、一番表層にある火山灰質の土壌の中に水がしみ込んでいきます。次に雨が降ると懸垂水がまず最初に太ってきます。しかし、一定の量しか保てませんので、それ以上ふとってくるところにあった水は下に落ちていくこととなります。そしてまた次の懸垂水を太らせて、また一部はこの下に追いやっていく。玉突き状態に下へ下へ水は落ちていきます。このようにして、土の中に入っている水分というのは実は意外に多いのです。図2に示すように、地表から地下へ向かってずっと土壌中の水分を測ってみますと、これはどういう単位かという、土の空隙の体積に対して、どのくらいの割合で水が入っているかというグラフです。例えば上に粗い砂があって、下に細かいシルトがあると、上の粗いところは隙間も粗いので、そんなに懸垂水を保てません。しかし、粒子が小さくなればなるほど隙間も小さくなり、全体に対する隙間の量も多くなりますから、結局そこにかかってくる懸垂水も多くなるので、目の細かいところほど水を多く含むこととなります。しかし、先に述べましたように、普通の重力のもとでは下に落ちてきません。なかなか動かないのです。大根島ではどうなっているかと言うと、上のほうには火山灰質な泥があって、その泥の中には、たくさんの水が入っています。植物や作物はこの水を吸っているのです。つまり、ここに根がはって、この懸垂水を吸っています。作物は土の粒子と粒子の隙間に入っている毛管水で育っているのです。日照りが続くと地面近くではその量が減っていきませんが、その分だけ下からまた上がっていく。このように行ったり来たりするような水を土壤水といいます。あまり日照りが続くと、これもカラカラになって植物が吸える水もなくなって枯れてしましますが、普通の状態ですと枯れるようなことはありません。植物の根が入っている土には粒子自身と水と空気が入っています。これを三相構造と言い固体・液体・気体、この3相がいっしょになっているわけです。ところが、ある深さまでいくと、その隙間が水で全部占められてしまう。この状態を水で飽和されているといい、その上面が地下水面となります。井戸を掘ると、この地下水面が出てきます。砂浜で実験するとすぐわかりますが、手で掘っていくと、はじめは上のほうで白くてさらさらした乾いた砂でも、あるところまでいくと、湿りけをもった砂が出てきます。懸垂水を持つ砂です。ここでは湿っているからと言って、そこに水面が出てくることはありません。でもある深さまで掘っていくと水面が出てきます。それが地下水面です。

大根島の成り立ちと溶岩帯水層の特徴

大根島(図3, 写真1)では一番上の火山灰質な土壌は1つ1つの粒からできていて、それらの粒の中には隙間があります。ところが、大根島の下の方の溶岩は、ポーリングコアを見たほうがよくわかりますが、割れ目が入っていて、その他の部分はしっかりした隙間のない岩石です(写真1および2)。大阪名物の岩おこしを参考までに持ってきましたので、これで説明しましょう。小さい粒からできていますが、固まっていて、ひとつの格好になっています。丸いものがお互いにくっつきあっていますから、隙間はかなりあります。計かってみたことはないですが、30% ぐらいあります。これは計算するとわかりますが、同じぐらいの大きさの丸い粒が固まっているとすると、43% ぐらい隙間があることとなります。つまりその体積の半分近くが隙間なのです。では、もう1つの例を出します。チョコレートです。これはほとんど隙間がない1つの塊です。

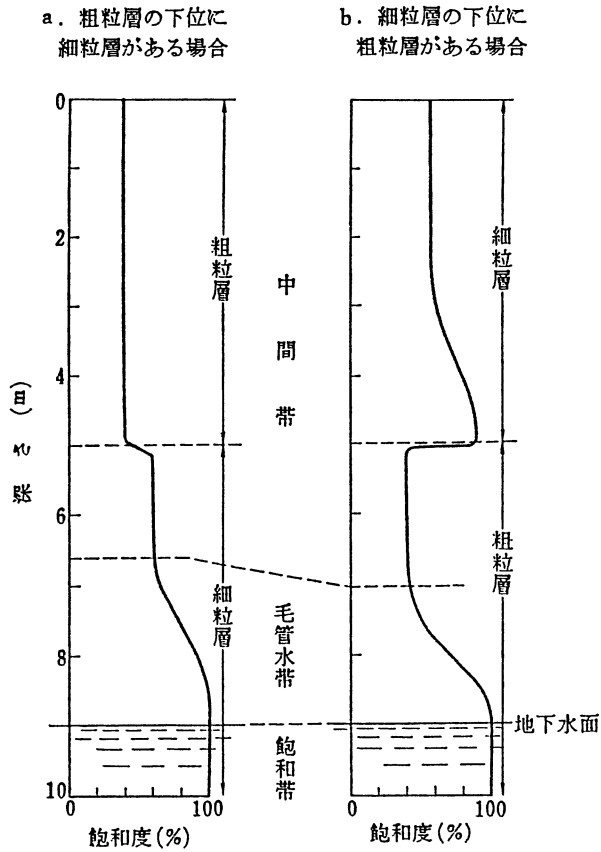


図2 成層土層における含水量分布 (水収支研究グループ, 1973)
飽和度は間げき率に対する水の含有比を表わす。

この塊だけだと、隙間はぜんぜんありません。これを割って、それからくつつけると、ちょっとだけ隙間ができます。これらの2つを比べると、隙間の体積は10倍以上違います。そのことが、今度の淡水レンズでもおおきな問題になります。上のほうの火山灰層は隙間が30%あるいはそれ以上あります。しかし、下の溶岩のほうは通常は隙間は2~4%ぐらいですから、火山灰層に比べると、1/10くらいしか隙間がありません。ただしここでもう1つ問題なのは、この隙間はお互いに粒子と粒子の間ですから、曲がりくねっていて、しかも細かいところがあったり、まんまかに大きな隙間があったりという、非常に複雑な形の空間をつくっています。それに対して割れ目は直線的つながっています。しかもこの1つ1つの割れ目というのはボーリングコアをみてわかるとおり、割れ目の表面が茶色になっているところがあります。地下水が通って、そこに酸化した鉄をおいていくために、茶色になっているのです。それで、水が動いているということがわかるわけですが、こういうところは非常に水のとおりがスムーズで、速いのです。もう1つのほうは隙間はたくさんある

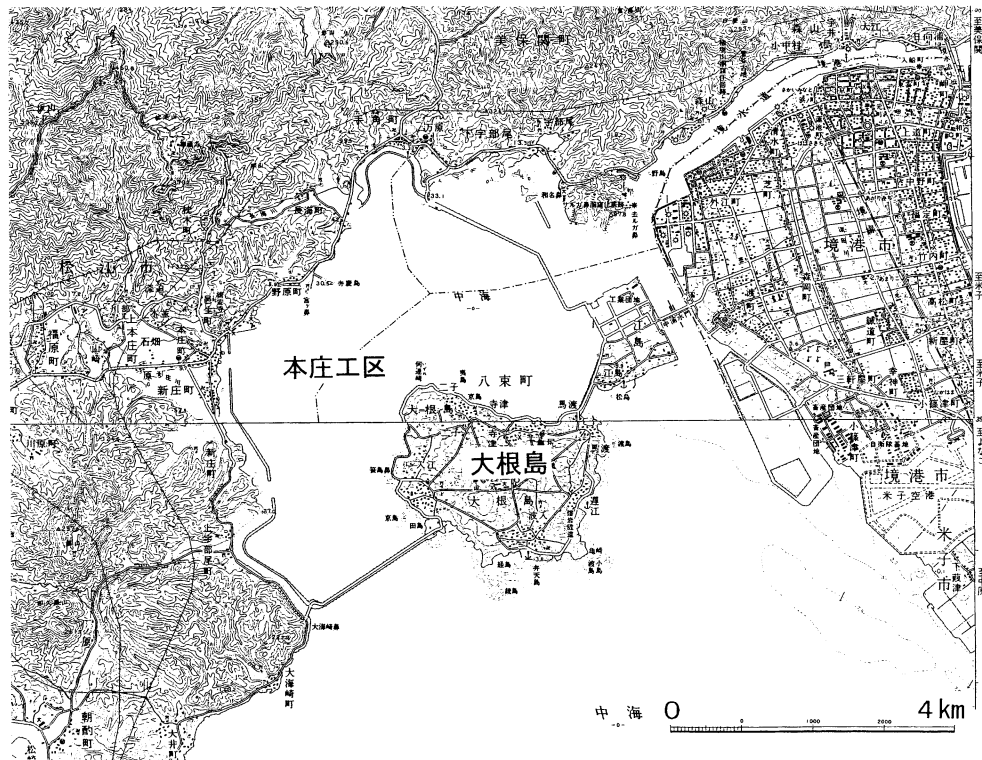


図3 大根島および本庄工区周辺の地形図 (5万分の1地形図, 松江, 境港による)



写真1 江島碎石場の露頭，大根島玄武岩を火山灰層と火山灰質土壌が覆っている。本誌の吹田ほかによる。

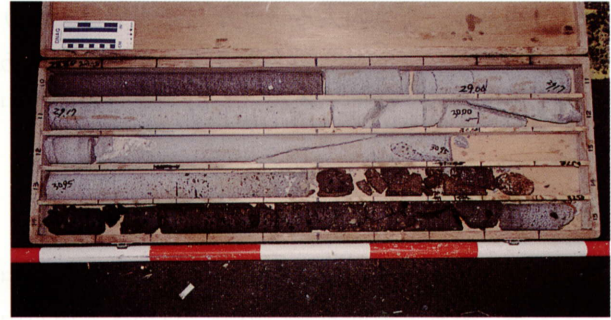


写真2 大根島玄武岩のボーリングコア，入江地区；本誌の沢田ほかを参照

けれども、水を通す速度はそれほど速くありません。実際に流速を測って見ると、10倍ぐらいの違いがあります。従って、全体をとおる水の量からすると、両者は同じ位になります。実際に下の岩石の状況を見てみます。図4は酒井軍治郎先生の地下水学(1965, 朝倉書店)のものです。割れ目などがつながっていると、あるところから下では水が満たされている飽和になりますが、それより上の部分では、水がどんどん下へ落ちていく、そういう部分があり

ます。ですから、ある一定のところから下にはいつも地下水があり、飽和している。しかし、上では飽和していない。そうすると、さっきの砂粒などでできている地下水の飽和帯、つまり地下水面とほぼ似たような面ができてきます。ただし、さっきの砂粒でできているところだと、どこを掘ってもそこに地下水面が出てきますが、本来なら地下水面が出てくるはずなのに、割れ目が全然ないようなところでは空井戸になります。つまり、割れ目の比率が粒子と粒子の隙間の比率より非常に少ないため、細かいところで見ると、こういう地下水面のようなものは見えない。けれど全体をみると、どうもある一定のところこういう水面が出てきている。淡水レンズの一番上に地下水面があるように書かれていますが、じつは細かくみると、こういうところをつなげている面であるということを強調しておきたかったのです。それからさきほどの溶岩トンネルのようなところでは、ほとんど地下にある川といってよいと思います。これを地下川といいますが、川と同じような状態で地下水が流れています。実際に岩盤の中の地下水面に相当する面より下の岩盤では、まさに水が川として流れているのです。大根島も多分こういう例がいくつもあるのではないかと思います。実際にそういうところにボーリングをしていくと、あるところまではガリガリと掘っていくのですが、ここにくると途端にストーンと掘っているボーリングのロッドが落ちてしまうという経験します。徳岡先生にお聞きすると、実際に島根大学で掘られたボーリングでも、ロッドがストーンと落ちたところが何ヶ所かあったということです。多分そういうところがあるのではないのでしょうか。こういうところは100%水ですから、こういうところが大根島の下にはたくさんあるとすると、これはものすごく有効な貯水池を地下に持っているということになると思います。残念ながら、いまのところどの程度というのは把握されていません。これが島の北のほうの水の状態です。もう一度整理しますと、粟おこしの中のような地下水を孔隙性の浸透水といいます。それには毛管水が入っていて、そして飽和帯になると、全部の隙間が水で埋まる。それを地層水といいます。それから、溶岩の中の水などは、亀裂水といったり、裂罅水といったりします。こ

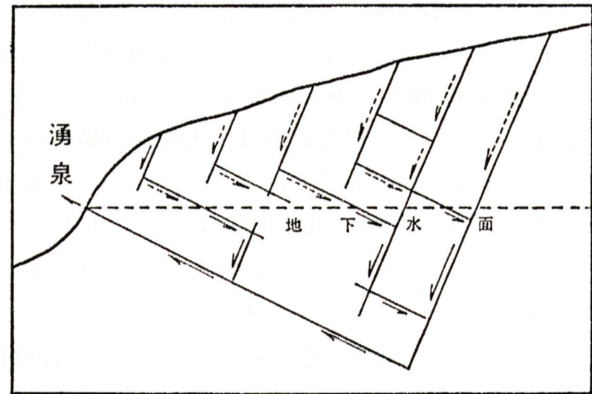


図4 地下水面をもつ岩罅水包蔵体の一形式(酒井, 1965)

れは、通気体、空気の入るようなところではやはり割れ目に沿って、割れ目の細かいところにはちょうど毛管で引っかかるようなものもありますが、これはあまり多くなくて、その他の水は亀裂水あるいは裂隙水というものになっていて、そのうちの一部は洞窟の中にあるような、洞窟水あるいは地下川と言っています。

淡水レンズ

大根島では地下水の地下水面と淡水、その下に中海から入った汽水があります。降った雨はしみ込んでいきますが、流れる速度が遅いので、島のまん中を中心とした山盛りのような格好で水が溜まります。比重が違うもの同士が接すると、例えばコップの中に水を入れて、その中に氷を入れると、氷が浮きます。中学校で習うことですが、そういうつりあいができるために、ここ（島の中央部）に上に持ち上がった部分ができます。淡水の場合も同じで、島の中央部などに淡水がずっと広がった盛りあがりができます。この深さがどれくらいになるのかというと、普通の真水と海水の場合を比べますと、 h が1にに対して、 Z はほぼ42倍になります(図5)。海水面より上に1m淡水があれば、海水面下には42mの真水があるわけです。ちょっと気をつけないといけないのは、大根島の場合は下が汽水ですので、塩分がうすい、そうするとその差は少なくなります。ということはここに浮いている淡水の量も小さくなる。従って、淡水の底も浅くなります。このようにいいますと、 h を同じようにしますと、実はこの h に対して42倍ではなくて、例えば20倍だとか、そのくらいのかっこうの淡水レンズになります。ただし何回もいうようですが、これは砂のような場合はこのようなかっこうになりますが、溶岩でできている場合は、溶岩の割れ目の中にこれができるということになるわけです。実際深さみたいなものは砂粒みたいなものであろうと溶岩みたいなものであろうと、この高さに対してのこちら側の深さは同じですから、さっきいいましたような特徴からみますと、溶岩の中というのは隙間が少ないので、この中に入ってくる淡水の量は、溶岩トンネルなどは別とすれば、割れ目にだけ入っているのだからそんなに量は多くない、ということになります。生のデータが出されていないので、計算ができないのですが、実際のどのくらいの量があるのか計算してみたいものです。私の予測では、今ここでいろいろこの水をぼたんの冠水や生活用水に使う、なおかつ、島には湧水があって、中海で底から淡水が湧き上がってくるようなところもあるということですから、いま島で使っている全量よりは、もうちょっと多い量の淡水がこの中にいつも貯め込まれている。さっきの雨が降って下へ落ちていく水の量は、島で使っている水の量よりはちょっと多いのではないのでしょうか。最近出された中四国農政局の資料(中国四国農政局, 1999)ではその辺はちゃんと計算してしまっていて、地表から1日あたり3mmずつが淡水レンズに流れ込んでいると書いています。3mmといいますと、365日だと約1mになります。この辺の年間降水量というのは2000mmぐらいでしょうか。そのうちの半分がこの中に入っているという意味だろうと思うのですが、この辺の地表を見ますと、今日みたいなひどい雨でもほとんどしみ込んでいってしまっているのだから、そのぐらいは入ってもおかしくないのです。いっぽうそれ以外の雨はといいますと、たとえばぼたんの葉っぱから蒸発する、これを蒸発散といいます。こういうものもあります。正式には蒸発散量といいます。このようなものを考えると、先の1000mm(1日3mm)というのは多すぎるかなとも思いますが、いずれにしても膨大な量です。3mmといってもこれに大根島の面積をかけるわけですから、これは何十万吨という量になり、これが地下水に入り込んでくるわけです。逆にいうと、これが島で使える水の限界量ということになります。

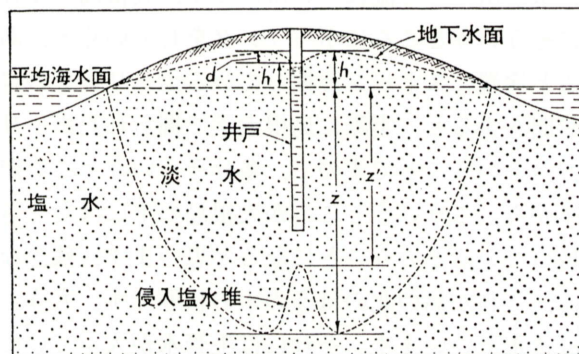


図5 ガイベン・ヘルツベルグの原理説明図(酒井, 1965)

水収支と地下での水の流れ

一般的にいうと、年間を通じて降った雨の1/3が作物とか地表とかから蒸発散します。次の1/3は、これは大根島の場合は少ないかもしれませんが、例えば道路だとか屋根だとかは浸み込まないので、海へ流れ出ます。最後の1/3が地面に浸み込んでいきます。ということは、大根島の面積の年間降水量÷

3、これが島で使える水の総量ということになります。農政局の報告書をみますと、考え違いというわけではありませんが、考えが混乱しているところがあります。地下水の場合によく使う専門用語に透水係数があります。透水係数はたとえば $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ などと書きますが、ここは、水の通しやすさ、通しにくさを表します。この単位を見ますと、何cmを何秒で行きますよということですから、これは速度の単位です。これは別の言い方で浸透流速と言います。ただし、ほんとうの流速とはちがいます。これを勘違いして実際の地下水が流れる速度として扱っているところが、いくつかあります。というのは、さっき言いましたように、溶岩の亀裂の中を割れ目にそって地下水は流れています。いっぽう、上の方の火山灰質の土壤の場合でも、粒子と粒子の隙間を地下水が流れていくのです。浸透流速というのは、たとえばこういうパイプみたいなものを想像しますと、そのパイプの断面積がAだとすると、ふつう水の場合にこのときの流速をVとすると、VはA断面全体を流れる水の量=Qとすると、 $Q=VA$ 、たとえば1秒間に5トン流れている水道メーターだと思って下さい。そういう量Qを断面積Aで割ったものが流速、例えば $Q=VA$ の左辺をみますと単位は m^3/sec 、Aは面積ですから m^2 、 $V=Q/A$ で m^2 が消えますので、Vの単位は m/sec となります。1秒間に流れる水の量を表しています。これが全部水ならいいのですが、浸透流速というのは、このAの中にこういう粒がいっぱい入っている。この面積を使うのです。これが全部水なら問題ないんですが、砂粒まで含めた面積を流れる水の量をこの面積で割っています。これが浸透流速という流速です。ですから、実際にこの中の隙間を流れている水の速さはどういうようにして出すかといいますと、ここでできたこのVをさらにこの隙間、たとえば隙間が全体に対しての半分だとすると、ここを流れている水のスピードはというと、断面積の半分を流れている速さですから、この速さは倍になっています。このことを実際に水の速度を表したときに混同して考えると、実際の水の量とか、速さとかを計算するときには困るわけです。このような実際の地下水の流速を実流速と呼びます。このことはまたあとで対策のところでも引っかけってくるので、覚えておいて下さい。もう1つ、実はここにありますように地下水は非常に速度が遅いのです。それは川の流れのような、目でみてスーッと流れているような速さではありませんが井戸の中に紙などを落としてどのように流れるか観察してストップウォッチで計ったりするんですが、じつに遅いものです。でも溶岩の場合は違って、非常に速いのです。私は前に八ヶ岳で溶岩中に掘った穴の中で地下水流速計を使って流速を測りました。これは熱を片方から出してそれがこちらへどれくらいで伝わるかというものを使ってやりました。流速を測ると結構速いのです。層流とは非常に穏やかな流れを言いますが、1つの水の分子が流れていくとそのあとを続く水分子が完全にその後をついていく。そういう流れが層流です(図6)。さきほどから言っています浸透流速だとか地下水実流速の計算というのはすべてこういう層流をもとにした計算です。ところが、これも後でちょっと大根島の地下水の対策のところでも問題になると思いますが、地下水の流れが速いと、乱れた流れになります。これを乱流と言います。このときには、途中でうずまいたり、あるいはお互いの流線と言いますか、流れと流れがぶつかって層流で成り立つような計算ができなくなってしまいます。

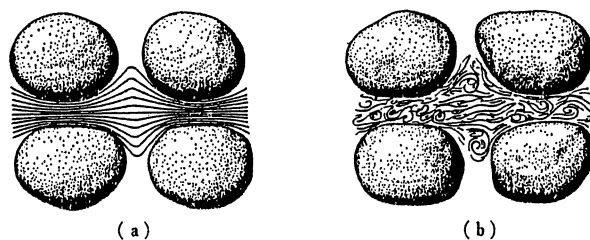


図6 層流(a)と乱流(b) (水収支研究グループ, 1973)

淡水レンズの働き

さて、大根島の話に移りましょう。海の方から大根島を見ますと、地形がかなりゆるやかなところと、急なところがあります。中海の中には泥層（中海層）から玄武岩がつきだしたところがあるところがあります。そういうところは承水路堤の内側、外側に関わらず、さっきいった原則が適用される範囲と言うことになります。実はこれは報告書（中国四国農政局，1999）に出てくる地下水対策の調査の一部ですが、結論からいいますと中国四国農政局が最近行った調査は、レジユメにも書いておきましたが、非常に精度の良い、的を射た調査でした。我々が実際に地下水調査をするときには、あまりお金がありませんからぎりぎり絞ってやりますが、贅沢な調査をしていて、目的に応じた結果を得ています。まだ発表されていないデータもあるので、そういうものは是非公にさせていただければと思います。これだけのデータがあって研究すれば、博士が何人かできると言うくらいの重みを持ったデータです。具体的な数字などが、公表されていないのは残念なことです。私などは計算したくてうずうずしています。報告書に書いてあることですが、一番上に火山灰層や土壌、粒子が集まっている部分があり、その下に岩盤が出てきて、これが亀裂の沢山ある、沢山といってもおそらく5%、多くても7%くらいですが、そういう岩石です。地下水面を描くと、ほとんど現在の中海の水面に近くなりますが、高いところでは水面上1m、あるいは30~20cmの高さですが、これは氷山の一角でして、その下には図ではだいたい-7~-8mのところまでに淡水があります（図7）。これは電気伝導度を計って淡水レンズの底を押えているわけです。塩水の場合は電気を通しやすく、ふつうの真水の場合は通しにくいという性質を利用して調べます。深いところでは-10mになっています。じつは淡水レンズの形を見ると、非常に平らになっています。先ほど淡水レンズの模式図を出しましたが、まんまにずっと深くなって、こちら側が盛り上がっていますが、なぜこうなるかと言うと砂粒などからできた島では隙間がたくさんあるが、水のスピードは遅い。それで山盛りになってこちら側へ、ある傾斜でもって流れていても上から供給される量のために、真中あたりが盛り上がり厚くなります。ところが溶岩の場合は亀裂自身は体積は少ないけれども、ここを流れる地下水のスピードが速いので、ゆるい傾斜になります。それで、淡水レンズの底も平らになります。これだけみても大根島の溶岩の地下水の流れの速さが相当速いことがわかります。量は少ないけれども、相当なスピードで流れているということがわかります。これに関連して島の中でたくさんの井戸の水面をはかったデータが出されています。観測の生データが見たいのですが、まだ公開されていないので、図から定性的なことしかいえませんが、図8は1日2回、日によっては1回の干満の差を示しています。大根島の地下水もさっき出ていましたような格好でこちら側の中海、あるいは現在本庄工

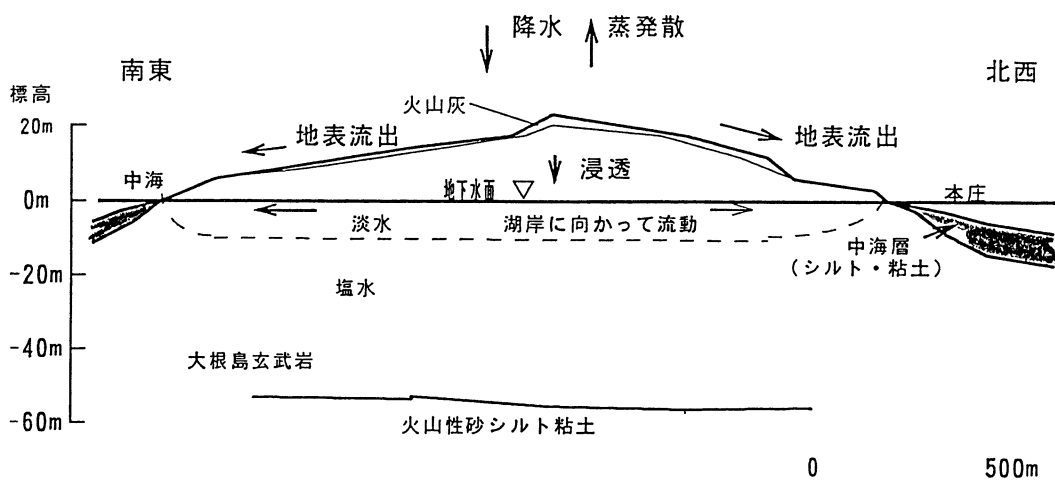


図7 八東町内における水（淡水）の挙動概念図（中国四国農政局，1999）

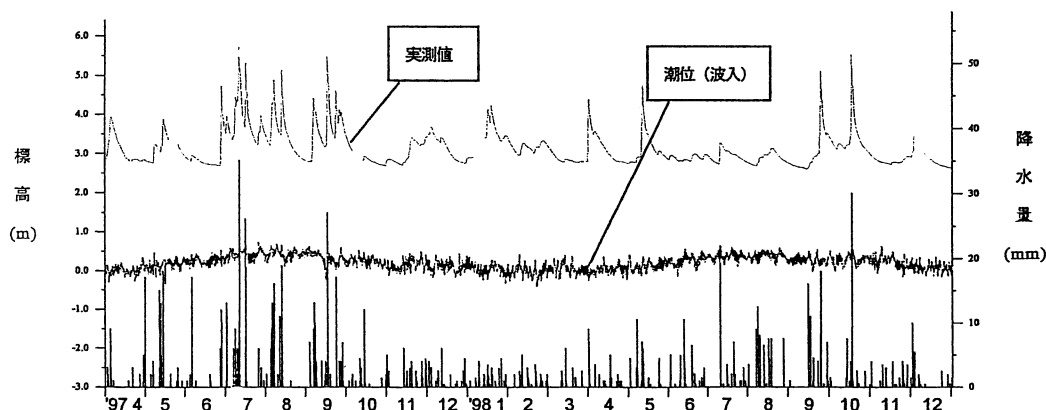


図8 地下水位連続観測結果 (中国四国農政局, 1999)

区でこの水面が干満によって上がったり下がったりすることが全部影響してきます。潮の干満は圧力ですから、堤の中であろうと外であろうと、そのまますぐに効いてきます。時間差はほとんどありません。内外水位がちがっているようですと、伝播するのに少し時間がかかることがあります。ほとんど水平なときには、ほとんど時間差なしでつながっていきます。地下水面が夏の時期にあがっている時と、冬の時期に平均して下がっている動きのこの干満の幅はほとんど変わりません。これが普通の大根島の一般的な井戸の状況です。

地下水位の変化

図8の棒グラフは雨です。8月から9月にかけて、台風の時期に多くなります。雨が降ると、井戸の水面が上がります。ほっておくとじわじわ下がっていきます。しばらく雨のないようなときには、下がり方もゆるやかになります。しかし、この間にどんなに下がっても、ある線より下には下がらないというところがあります。ここで見ますと、それは約2mです。ほとんどの井戸が海面すれすれ、10cmから20cmの高さに水面があって、その下3~4mの深さに塩水との境界がくる。これはちょっと違います。なぜかというところをボーリングコアをみてもわかるとおり、溶岩の中に非常に割れ目が少ないところがあると、その上でいったんしみ込んでいた雨が止まってしまう。とくに海寄りのところではそういうところでいったんとまって上を流れている地下水と、そこから下のほうの割れ目を通じて流れている地下水に分かれてしまいます。これはその例らしいのですが、それにしても雨に対して敏感に反応しています。雨が降ってそれが地表から残っていた懸垂水を押して、下へやってその懸垂水がまた下へ玉突き状にずっといって、これはほとんど瞬時に起こります。このことはなにをいっているかという、典型的な例として図8をみますと、97年7月半ばに30mmの雨が降ったときにここから上がりはじめ、つまり3.5mのところから上がり始まり、5.5mまであがります。2m水位が上昇したわけですから、これは200cmです。30mmということは3cmです。3cmの水がしみこむと200cmの地下水になるわけですから、これは隙間の率です。このように隙間の率も計算できます。3を200で割ると0.015、つまり1.5%です。3cmの雨が降ったときにその雨が充填しているところを重ね合わせると、2mぐらいになるということは、この中の隙間は1.5%しかないということです。さきほど私は2~4%が普通といいました。もちろんこれは溶岩の中の隙間ですから、こうなります。これは八ヶ岳などでみますと、溶岩の特徴です。雨が降ると鋭敏に反応します。それは実際に入っていく量に対して、溶岩中の水面の変化が非常に大きいことを示しています。そのかわり今度は減るときにも速いです。これが1つの大きな特徴になります。雨が降ってもそんなにあがらない。それからちょっとした雨では、反応しないというところが出てくると、巨大な洞窟があって、そのわずか3cmとか2cmぐらいのものがしみこんでも、水面はそんなに上がらない。そういう解析ができるはずですが、実際に大根島の淡水レンズの上面、つまり地下

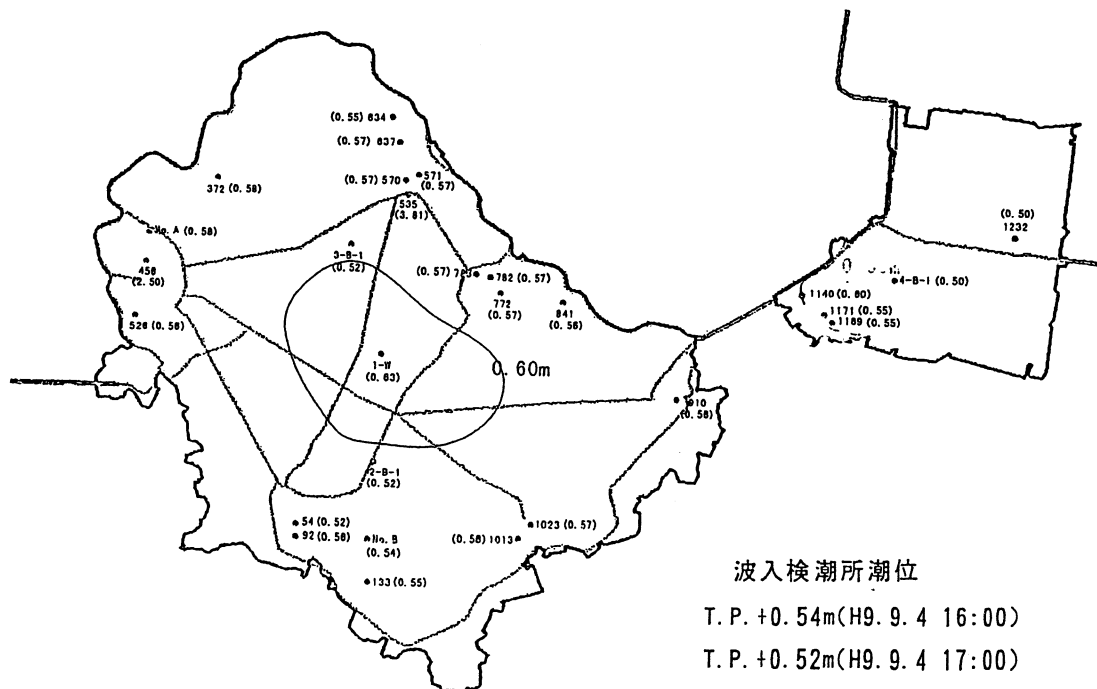


図9 地下水位一斉観測結果(平成9年9月4日 16:00~17:00)(中国四国農政局, 1999)

水面がどのくらいのところにあるか図9をみてみると、島の中央部で60cm、海面より60cmだけ高いところにあります。ですから図では等高線は1本しか引いてありません。海面上にはうすいものしかのっていません。注意しないといけないのは、井戸のくみあげで地下水面を下げると、そこにむかって、まわりの水面が下がり、それと同時に淡水レンズの底も上がってきますから、地下水面が海水面にまで達するとどうなるかという、淡水の厚さが0になってしまうということになります。ですから淡水が厚くあるからといって、そこまでは水面をおろしても水が出てくるというように考えると、これは大間違いです。淡水レンズのボリュームは確かにそれだけありますが、実際汲むときには、この海水面よりは水面は下げられない。いっぺんにたくさんの水をあげることは御法度ということになります。海に近いところでは当然のことですが、島の真ん中でも60cm地下水面を下げるというのは非常に危ない。しかし、お聞きするところでは、がんがん汲んでも井戸のなかの水面は1cmか2cm位しか下がらないとのこと。これはなぜかという、この井戸を汲んでもまわりとの落差ができると、そこへむかって猛烈な速さで地下水が集まってくるため、そのために一カ所で相当量汲んでもなかなか地下水位は下がりにません。しかし、全体の水の量はどんどん減るわけですから、“汲めどもつきない”というわけにはいきません。

本庄工区を干し上げると淡水レンズはどうなるか

ここで問題となっている本庄工区のほうを干し上げて、水面を下げるとどういうことになるか、考えて見ることにします。島の中の淡水が干拓地側へ流れ出てしまうというように言われていますが、そうではないのです。新聞などで見ると本庄工区側の水面を4m下げると大根島の地下水は、全滅であるというように書かれていましたが、必ずしもそうではないのです。これにも書いてありますように、雨が降ってまず表層に蓄えられて、それから下へ降りていく。そこに淡水のある面をつくってそれがどちらかへ流れ出る。しかし、先ほどいいましたように、溶岩の中ではちょっとした傾斜でも相当な速さで地下水は移動するという特徴が、ここで1つ問題になります。このように下げると、相変わらず降水を起源とする地下水は表層から浸

みこんでいきますが、ここに4 mの差があるような傾斜ができますと、溶岩のキレツの中を流れる地下水の流れが速くなる。もちろん、中海から干拓地に向かって、ものすごいスピードで塩水も流れますし、その上に乗っている淡水も同様の速さで流れます。この流れの速さが先にお話した層流の域をでて、乱流になるかどうかで、これから先の討論も分かれるのですが、層流のままだとしたら、以下ようになります。島に降った雨から、浸み込んだ地下水は次第に干拓地側へ集まってくる。だから、この中海に近いところではわずかしかなのですが、だんだん干拓地側へくるに従って、流れてくる淡水と上からくる浸透水が合わさって干拓地側で地下水が集まります。いまのようなどこで掘っても大体同じ位の条件で淡水が汲めるということではなくなり、中海に近い人は井戸を掘ってもほとんど淡水はない。それに対してこの本庄工区の方にある井戸は、こっちから集まってきますから、いまよりは不利になるでしょうけれども、地下水の流れが速くどんどん流れますから、量は少なくなるけれども中海側よりも多少多めの地下水が取れるということになります。

対策を何もしないとすると、本庄工区側へは淡水レンズなんてもんじゃなくて、中海の塩水が大量に流れ出てしまって、恐らく対策が大変だろうと思います。このようなことをしなければいいのですが、もし対策をしないで干拓をすればそういうことになります。「淡水レンズがなくなりますよ」というだけでは済みません。先ほど徳岡先生が言っておられましたように、本庄工区の中で下の溶岩が顔を出してしているようなところがあると、そこにある割れ目から、ひどい場合には4 mの噴水がわき上がることになります(図10)。それはなぜかといいますと、全体を通して湧き上がるのではなくて、全体の1.5%くらいで存在する割れ目のところをめぐらしてプシューと噴出してきます。ですからそういった噴水がいっぱいできて、干拓地の中に噴水公園ができてしまうことになるかもしれません。この水を外に排水するというのを考えたら、ちょっと頭が痛い話です。

承水路で淡水レンズは守れるか

つぎに大根島の本庄工区側に承水路をつくったらどうなるかと言うことです。実際に承水路をつくったときに淡水の状態はどうなるか、という計算をしています。結論からいいますと、ここにもし承水路をつくれれば、報告書にも書かれているように大根島の地下水はいまと同じような条件でそのまま利用できると思います(図10)。ただ問題なのは、こんなところに承水路をつくると、ここだけ地下水位の高い状態をつくることになるので、干拓地側との間でまた同様な問題が起こることになります。淡水を守るためのもう1つの方法という意味で島をまたいで止水壁を入れるという話がありますが、溶岩の下まで、ですから60 mくらいまで止水壁を入れるとすると、これをずっと大根島を経て相当な長さで入れれば止まるでしょうが、そんなことをするならばじめから堤防をつくらなければいいということになります。いままでいわれている話とあまりかけ離れない結論で終わらせてもらおうことにはなりますが、このことを逆にいうと徳岡先生らが主張されたことはそのとおりだと言う、私の結論はそういうことです。

(おわり)

参 考 文 献

- 中国四国農政局(1999)農業利用に係る技術的事項の調査結果,地下水対策編,第2回本庄工区検討委員会資料4,53 p.
 水収支研究グループ(1973)地下水資源学,共立出版,397 p.
 酒井軍治郎(1965)地下水学,朝倉書店,418 p.
 徳岡隆夫・高安克巳(1992編)中海北部(本庄工区)アトラス,島根大学山陰地域研究総合センター,91 p.

(受付:2001年12月10日,受理:2001年12月17日)

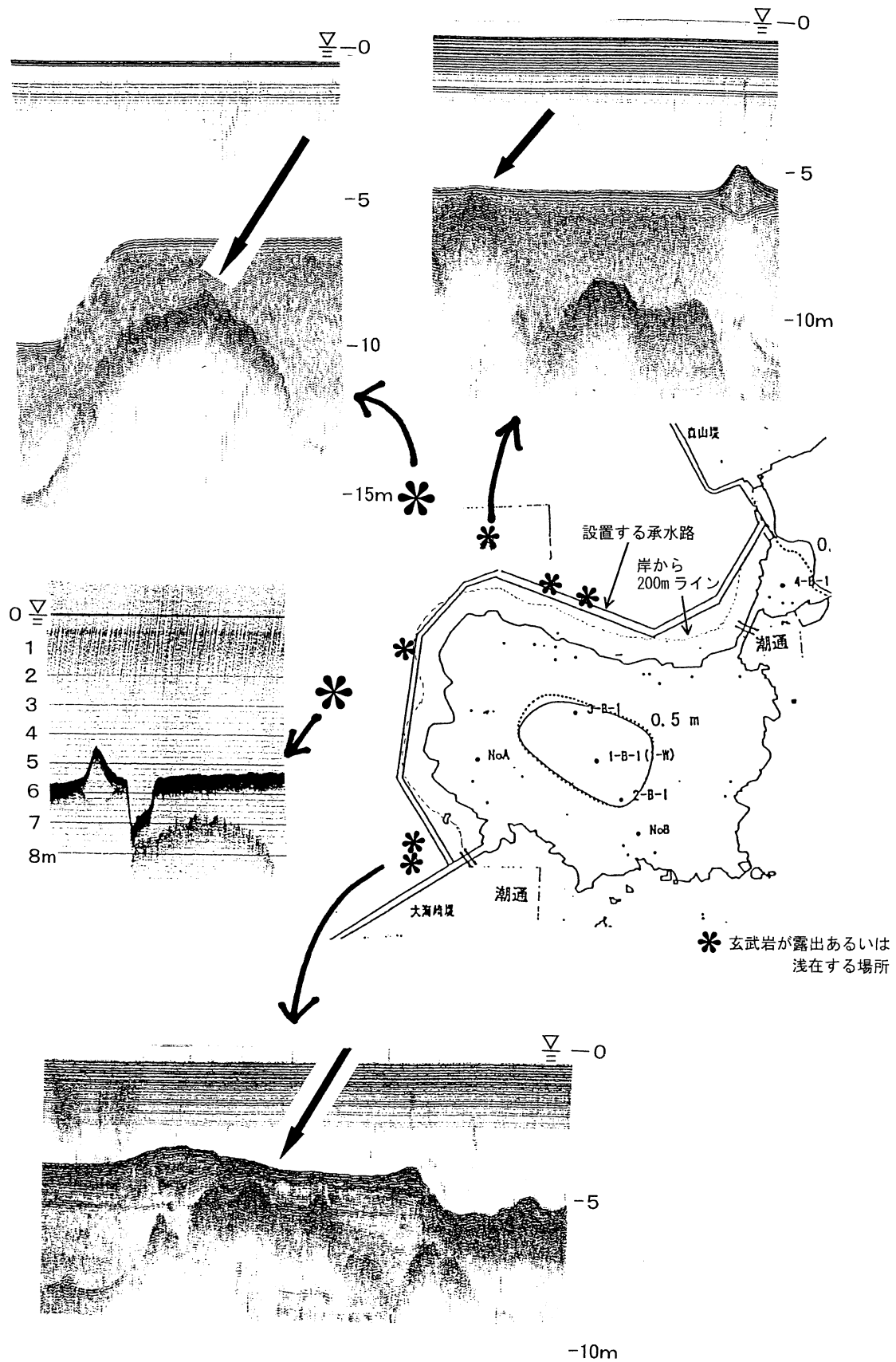


図10 本庄工区内の泥層下の大根島玄武岩の分布（露出あるいは浅在する場所の音探記録で、徳岡ら島根大学グループの調査資料による。）と承水路案（中国四国農政局，1999 による）

付 記

この講演記録は、大阪市立大学の熊井久雄先生に第33回汽水域懇談会(1999年6月17日、島根大学)において、市民向けに行っていただいたものを元としている。この当時、中海干拓・淡水化事業をめぐってはさまざまな意見が出されていて、農水省中国四国農政局においても、本庄工区検討委員会を設置して専門的な立場からのさまざまな検討が行われた。委員会の度ごとに、詳しい調査資料が公開された。大根島の地下水調査もその一つで、熊井先生も述べておられるように、これらのデータをくわしく検討すれば博士が何人もできる、という優れた資料である。これらの資料についてわかりやすく解説していただくことを目的として、会が企画された。当然、市民の関心も高く、講演会場は満席の状況を呈した(下の写真および次頁の新聞記事を参照)。この後、すぐにでもテープ起しをして、小冊子をつくるつもりが、それができなかったのは、いつもの筆者の怠慢のなせる業である。しかし、ここに他の大根島玄武岩についてのいくつかの報告とともに本研究報告に掲載していただくことができ、すこしばかり荷を降ろした気持ちである。熊井先生と冊子の印刷を心待ちにされていた方々には、どうか御寛容くださるようお願いいたします。中海干拓淡水化事業は半世紀にわたる紆余曲折を経て、干拓事業については2000年8月についに中止となり、現在は、淡水化の中止も含めて、後処理をどのように行うかが国と地方自治体の間で検討されている段階にある。この事業のために行われた調査研究は、じつに膨大なもので、今後、汽水域の水環境やその利用と保全を考える上では欠くことのできない、すばらしい科学的な蓄積である。それがいま眠っている。熊井先生も述べておられるように、これらのデータがなんらかの形で公表されることを切に望みたい。

2001年12月 島根大学名誉教授 徳岡隆夫



講演する熊井久雄先生(1999年6月17日)

第33回 汽水域懇談会



大根島の地下水 -淡水レンズの不思議-

講師 熊井久雄先生 (大阪市立大学 教授)

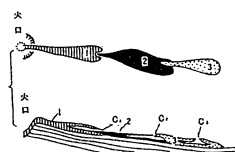
日時 6月17日(木) 18:00~20:00

場所 島根大学総合理工学部 3号館3階 地球学科講義室

中海に浮かぶ大根島・江島は、氷河時代に、玄武岩の溶岩が陸上に吹き出してできた島です。その下には汲めども尽きない地下水があります。どのような日照が続いても、水不足の心配はありません。自然の与えてくれた大きな恵みです。



火山島の淡水レンズ



溶岩流と溶岩トンネルのき方

淡水レンズはどのようにしてできるのか、どれだけの水があるのか?本庄水域を干陸すると大根島・江島の地下水は本当に枯れてしまうのか、淡水レンズを残す方法はあるのか?こういった問題について、日本の地下水研究の第一人者である熊井先生にお話しして頂きます。島根大学が独自に行ってきた大根島ボーリング調査の結果についても、あわせて紹介いたします。ご期待下さい。

連絡先: 島根大学汽水域研究センター/汽水域研究会
TEL/FAX: 0852-32-6099

地下水対策を批判

熊井・大阪「汽水域懇」で見解

汽水湖の空道湖・中海に「汽水路」として「汽水路」という地下水の研究成果を大学教授らが報告する「汽水域懇」が十七日夕、松江市の島根大学で開かれ、地下水研究の専門家である熊井久雄・大阪市立大学教授が「大根島の地下水—淡水レンズの不思議—」というテーマで講演した。中海・本庄工区千拓では、大根島(八束郡八束町)の地下水の調査結果が報告された。熊井教授は、農水省の調査結果を「大根島の地下水—淡水レンズの不思議—」というテーマで講演した。中海・本庄工区千拓では、大根島(八束郡八束町)の地下水の調査結果が報告された。熊井教授は、農水省の調査結果を「大根島の地下水—淡水レンズの不思議—」というテーマで講演した。

地下水の異変を指摘

汽水域懇で 農水省案に疑問

熊井・大阪「汽水域懇」で見解
熊井教授は、農水省が提示する地下水層についての理解を深める第33回汽水域懇談会「大根島の地下水—淡水レンズの不思議—」(島根大学)で、農水省の調査結果を「大根島の地下水—淡水レンズの不思議—」というテーマで講演した。熊井教授は、農水省の調査結果を「大根島の地下水—淡水レンズの不思議—」というテーマで講演した。

抜本策には膨大な費用

熊井・大阪 地下水対策を講演

島根大

中海千拓・本庄工区の自... 熊井教授は「汽水路の設置が示している大根島(島根県八束町)の地下水保全策の問題点を指摘し、抜本的な対策を講じるには膨大な費用がかかる」と指摘した。大根島の地下には厚さ約八メートルの淡水層が... 熊井教授は「汽水路の設置が示している大根島(島根県八束町)の地下水保全策の問題点を指摘し、抜本的な対策を講じるには膨大な費用がかかる」と指摘した。大根島の地下には厚さ約八メートルの淡水層が... 熊井教授は「汽水路の設置が示している大根島(島根県八束町)の地下水保全策の問題点を指摘し、抜本的な対策を講じるには膨大な費用がかかる」と指摘した。

塩水しみ出す可能性

本庄工区 松江で 大阪市立大教授が指摘

中海本庄工区の千拓で懸念される大根島(八束郡八束町)の地下水流失について、大阪市立大学の熊井久雄教授(水理地質学)は十七日夜、島根大であった学習会で講演し、工区内の千拓地に塩水がしみ出す危険性を指摘した。これを防ぐには、地下六十メートルに達する止水壁を島の工区側に沿って築く必要があると指摘。「工法的には可能だが、ばく大な費用がかかる」と指摘した。熊井教授は「汽水路の設置が示している大根島(島根県八束町)の地下水保全策の問題点を指摘し、抜本的な対策を講じるには膨大な費用がかかる」と指摘した。



中海・本庄工区千拓問題
で、八束町の大根島、江島
の「淡水レンズ」と呼ばれ
る地下水層についての理解
を深める第33回汽水域懇談
会「大根島の地下水—淡水
レンズの不思議—」(島根大
学)で、農水省の調査結果
を「大根島の地下水—淡水
レンズの不思議—」という
テーマで講演した。熊井教
授は、農水省が提示した
汽水路案について、実効性
や工事費用の面から現実
味がないとの見解を示した。
熊井教授は大根島の地下

【福田 隆】

熊井久雄先生の講演会「大根島の地下水—淡水レンズの不思議」を伝える新聞記事の抜粋