

快適な環境づくり

みやぎ 公衛検カプセル

No. 58

平成 18 年 3 月



(気仙沼 十八鳴浜)

DNA分析による米の品種判別

東北大学大学院農学研究科 西 尾 剛

ブドウやリンゴの品種などは、一般の人でも果実を見ただけで判別でき、品種名を言い当てることもできるが、米の品種は、専門家でも米粒を見ただけでは判別が困難である。栽培してみて、早生か晩生か、草丈が高いか低いかなどの特性から判別できるが、最近は類似した品種が多く、栽培しても品種名を言い当てるのは容易ではない。しかし、食味は品種によって異なり、コシヒカリやその近縁の品種が良食味品種として好まれるが、これら良食味品種は一般に収量が高くない。そのため、多収で食味が劣る品種の米を良食味品種と偽る偽装表示がなされることがある。意識した偽装ではなく、取り違えにより無意識に偽装してしまう危険性もあるため、簡便な品種判別技術が求められる。

イネの品種

2004年に日本で1 ha以上栽培されたイネの品種は325である。最も生産が多い品種はコシヒカリで、全体の約38%を占める。2位のひとめぼれ、3位のヒノヒカリ、4位のあきたこまちの3品種はいずれもコシヒカリの子であり、10位までの品種のうちのほとんどが、コシヒカリと極めて近縁である。

イネの品種は、ほとんどの遺伝子がホモ接合になったほぼ純系といえるものである。そのため、コシヒカリに実った種子をまいても同じコシヒカリになる。当然のことのように思えるかもしれないが、トウモロコシや野菜や果樹の品種は、その品種に実った種子をまいても親と同じにはならない。イネの品種の均一性は高いが、DNAレベルで見ると完全には均一ではなく、品種内でのDNA変異がわずかにある。

DNAの電気泳動分析による品種判別

イネの品種判別法としては、DNAの塩基配列の変異を分析するDNA多型分析が最も有効である。DNA多型分析法のほとんどは、電気泳動法でDNA断片長を分析するものである。多様なDNAの中から特定のDNA断片のみを分析するためには、そのDNA断片の両端の塩基配列を持つプライマー対を用いたPCRでDNAを増幅する。

イネの品種判別に利用できるDNA多型分析法を表1にまとめた。RAPDは、簡便なためよく利用されたが、分析結果の再現性が高くないことから、最近あまり使われなくなった。20塩基程度のプライマー対を用いてゲノム中の変異がある配列を増幅して電気泳動分析する方法がRAPDに代わってよく用いられるようになり、このようなDNAマーカーはSCARと呼ばれる。SCAR マーカーは、PCRで増幅するDNAの挿入や欠失による変異しか検出できないため、日本のイネ品種間で多型がある塩基配列は少ない。増幅されたDNA断片の長さが同じ場合、制限酵素で切断して電気泳動で多型を分析する方法をPCR-RFLPという（植物分野ではCAPSという言い方が使われる）。PCR-RFLPでは制限酵素で認識される配列内の変異しか検出できないので、これでも品種間の多型が検出できない場合が多い。単純反復配列（SSR）は、その反復数に変異が大きく、品種間差が多く見られるため、現在品種判別に最もよく利用されている。他に、DNA多型検出能が高い方法としてSSCPやAFLPがある。

ドットプロット法による品種判別

電気泳動分析は、ゲル中で数センチから十数センチDNA試料を流す必要があることから、多数の試

料を一度に分析することはできない。キャピラリー電気泳動法で自動分析することで多数試料を分析することは可能であるが、コストがかかる。

ドットプロット法は、多数試料を一度に労力をかけずに分析する方法として優れている。ドットプロット法では、12cm×8cmのナイロンメンブランに864の試料DNAをブロッティングできる。2反復で分析しても、1枚で432サンプルの分析が可能で、同時に10枚程度は一人の作業で扱えるので、一度に4320サンプルの分析が出来ることになり、電気泳動法を用いる場合の10倍程度の効率で分析できる。イネの葉から抽出したDNAを直接メンブランにブロッティングし、ラベルした特定のDNA断片をハイブリダイズさせることによって、その断片を持つ品種と持たない品種を判別でき、10マーカーを用いた分析で31品種の判別が出来た。米1粒からとったDNAでは、ドットプロット法に直接用いるには量が足りないので、PCRで増幅してブロッティングする必要がある。

一塩基多型分析による品種判別

ドットプロット法で分析するDNA多型は、30塩基以上の挿入/欠失であり、日本のイネ品種間でこのような多型は少なく、全品種を判別するのに十分

な数のDNAマーカーは作れない。とくに、突然変異で得られた品種は、原品種と比較すると、ある遺伝子について1塩基の差(一塩基多型)しかない場合が多い。そこで、一塩基多型が分析できるドットプロット法(ドットプロットSNP法)を開発した。この方法では、PCRで増幅したDNAをメンブランにブロッティングし、ラベルした合成DNAをハイブリダイズさせるが、その最適条件を設定して一塩基多型を判別する。極めて多数の試料を分析できる点は、普通のドットプロット法と同様であり、かつ、多数のDNAマーカーを作成できることから品種の判別力は高い。一試料の分析にかかる労力やコストは、他の一塩基多型分析法に比べて極めて少なく、品種判別のみでなく、様々な場面での利用が期待される。

ドットプロット法のように、多数の試料の分析が簡便になると、材料からのDNA精製が分析操作で最も労力がかかる過程となる。イネの葉からのDNA精製は比較的容易で、かなり簡易な方法で精製したDNAでもPCRに利用できる。一方、米粒は澱粉が多いため、DNA精製は容易でない。DNAの精製が不十分な場合、PCRによるDNA増幅に失敗することが多い。扱う材料や目的DNAに応じて最も簡便で確実な方法を見出す必要があり、DNA精製法が多数試料の分析を行う上でのキーとなる。

表1 品種判別に利用できるDNA多型分析法

方法	原 理	長 所	短 所
RAPD	10塩基程度の短いプライマーを用いたPCRで増幅したDNAの多型を検出。	極めて簡易で、マーカーの予備情報も必要ない。	結果が鋳型DNAの純度の影響を受けやすく、再現性が低い。
SCAR	特定のDNA断片を増幅するように設計したプライマーを用いたPCRで増幅されるDNAの有無、あるいは断片長の多型を検出。	極めて簡易。	イネ品種間で多型があるDNA断片は少ない。DNAの増幅の有無の分析はやや再現性が低い。
PCR-RFLP	PCRで増幅した特定のDNA断片を制限酵素で切断して、断片長の多型を検出。	簡易で再現性が高い。	イネ品種間で多型があるDNA断片はやや少ない。
SSR	2～4塩基程度の配列が繰り返しになっている反復配列の反復数の変異を検出。	品種間での変異が大きく、品種判別によく利用される。	2～4塩基程度の長さの差を検出するため大きなポリアクリルアミドゲルを使用する必要があり、多数試料の分析に適さない。
SSCP	DNA断片中的一塩基の違いで生じる一本鎖DNAのコンフォーメーションの差を電気泳動法で検出。	品種間での変異が大きく、どのような塩基配列のDNA断片も分析可能。	大きなポリアクリルアミドゲルを使用する必要があり、多数試料の分析に適さない。
AFLP	制限酵素で切断したDNA断片に特定のDNA断片を結合し、そのDNA断片の配列に任意の3塩基を付加したプライマーでPCRを行い、増幅したDNAの多型を検出。	品種間での変異が大きく、マーカーの予備情報も必要ない。	1試料にかかる操作が煩雑であり、大きなポリアクリルアミドゲルを使用する必要があり、多数試料の分析に適さない。

海を育む森と川の連携

— 森は本当に海の恋人か —

石巻専修大学理工学部 高 崎 みつる

日本は海岸線延長が3万4千kmを越え、世界の先進国の中で面積あたり海岸線延長は最も長い。国土の約67%は森林面積が占めるが、これらを暮らしの中で感じることは少ない。昭和40年代初頭中学社会科の地図帳をワクワクしながら見たことを思い出すが、その後ろの方に日本の貿易収支図説があって、貿易順位の説明では水産物輸出額が3位か4位あたりだったように思う。一次生産そのものといえる水産業が日本の中で強い時代があったことはとても面白い。

水産業や水揚げの衰退は、深刻な問題になっているが、その一方で、海を育む森の恵みといったテーマも広く知られるようになってきていることには新しい流れも感じる。

いったい、森は海を育てているのだろうか、海の生産に異変が起きている原因にはどういったことが関与しているのだろうか、考えてみたい。

私の勤める大学は南三陸の南端にある。いま南三陸の海に起こっている磯枯れは北日本で広く見られる。磯枯れ（＝磯焼け）は、魚の産卵場でありウニやアワビを育てる藻場が失われる現象で、元々海草／藻が繁茂していた磯が真っ白な珊瑚藻に覆われる悲惨な変化が海に起こり、その原因究明や対策はなかなか進んでいない。この磯枯れ箇所で行っている現象は、専門家がそれぞれの立場から原因を追究し、

対策を試みている最中でもある。

おそらく、海に起きている異変には、人の関与していることがほとんどだろう。しかし、それはむしろ生活の便利さや改善・防災の目的が形を変えて海の磯枯れ原因を作ってしまったように思える。

漁港突堤や防波堤の整備は、地域住民の命や財産を守るために必須なものだろう。これはしかし、山の上のほうから漁港周辺を見ると気付くのだが、海に面した集落に注ぐ沢や小河川をコンクリート防波堤が囲い込み、川の恵みは漁港の中だけに制限されているケースにもつながっている。

水温の上昇は、地球温暖化現象の結果だろう。温度が高くなれば、海の中の様々な生き物は活性を上げ（活動が高まり）ウニのような藻場を餌場とする生き物は、海藻類を食べる速度が大きくなる。一方で、海藻類の成長も、水温が上がると成長に適した温度範囲の中であれば、その速度を大きくする。しかし海藻成長に適した温度範囲を水温が超えてしまったり、温度以外の成長要因が成長の鍵を握っている場合には、水温上昇が海藻類の成長速度を大きくするようなことは起こらない。海藻の成長には、栄養塩が必要で、陸の植物であれば窒素・リン・カリウムが主要な3元素になるが、海では窒素・リン・ケイ酸が最も大切な栄養塩となっている。ちなみにヨーロッパでは、「魚はケイ酸」といった内容の諺もあ

るというほど、海の生態系を支えるためにケイ酸は大切な栄養塩になっている。

海の生産の全体中で、沿岸域の占める割合は大きいことが知られているが、その理由には、陸域から海への栄養供給の大きさも含まれている。陸から海への栄養供給のほとんどは河川から海へと流れ込む河川由来のものと考えてよいだろう。宮城県の中でも、カキ生産と海苔の生産地としてよく知られている東松島市を流れる鳴瀬川の例を見てみよう。河川は海へ流れ込むと、潮汐や海流、波浪によって拡散され沖へと運ばれていく。当然河口近くは栄養が豊かなため、多くの植物プランクトン生産が可能になっている。

実は川から運ばれた海の恵みとは、栄養塩そのもので、これが植物プランクトンの栄養になって美味しい蚌を育み、また海苔の成長を助けているということになる。川から海へ出た川の水は、海と重さ（塩分濃度）が異なり、川の水と海の水の混合の割合は、塩分濃度によって見る事が出来る。また川から出た栄養が、植物プランクトンに利用されると、栄養塩濃度は減少して行くので、植物プランクトンの増加と栄養塩の減少の割合を見ることで、植

物プランクトン増加に対して使われた（減少した）栄養塩の大きさが分かると考えられる。図1に河口から約200m沖に離れた地点の塩分濃度の鉛直分布変化を示し、図2に植物プランクトン鉛直分布の変化を示す。図1と図2から川の水が海の水の上に乗って運ばれていることや、深さ3mや5mといった層で植物プランクトンの増加が大きいことが読み取れる。表層に比べ、5m層では塩分濃度で約3倍大きく、植物プランクトンはおよそ3～4倍弱大きくなっていた。また主要な栄養塩である窒素は約1/3～4に減少し、塩分濃度の減少に対する植物プランクトンの増加や窒素の減少は、概ね釣り合った割合と見て取れる。同じ地点のケイ酸の鉛直分布を図4に示す。ケイ酸減少の割合は、表層に比べておよそ1/16～17と窒素の減少に比べて際立っていることが示されている。

このように、ケイ酸は海の中で減少が著しい傾向にあることが示され、ケイ酸の貴重さから考えて、このような傾向は陸から海への栄養塩供給の減少に輪をかけて深刻な問題と捉えている専門家が増えている。

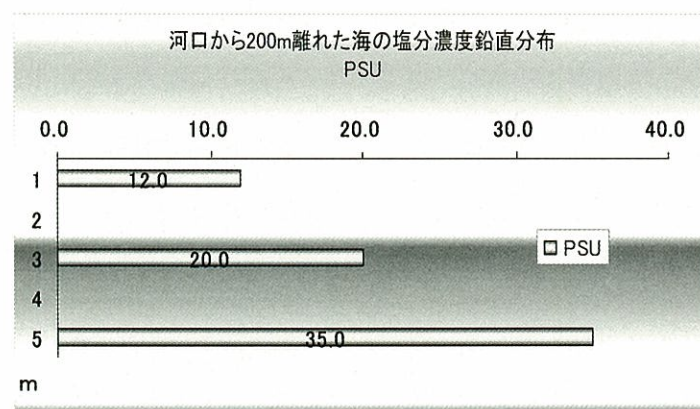


図1 鳴瀬川河口沖の塩分濃度鉛直分布

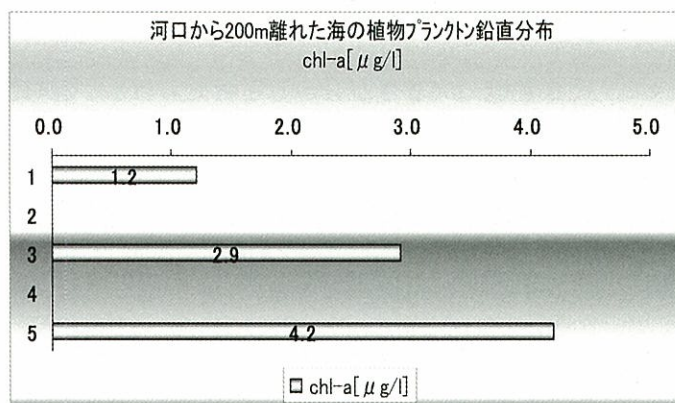


図2 鳴瀬川河口沖の植物プランクトン濃度鉛直分布
(クロロフィル a 量として表示)

図3 鳴瀬川河口沖主要な栄養塩である無機窒素濃度鉛直分布

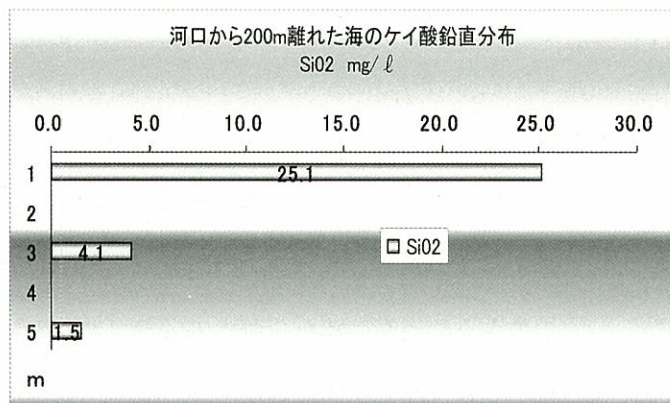
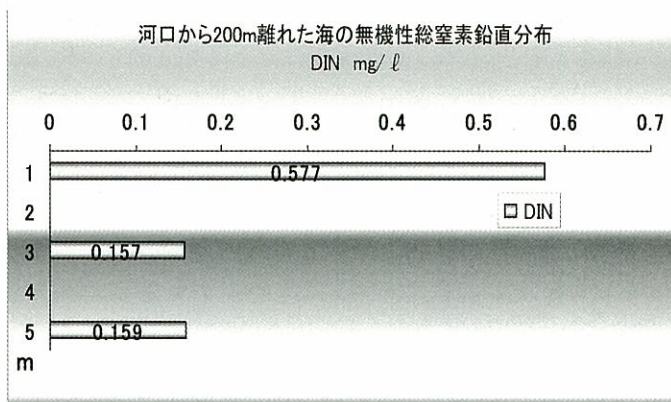


図4 鳴瀬川河口沖主要な栄養塩であるケイ酸濃度鉛直分布

何故ケイ酸が海では重要なのだろうか？ 海で魚は良く知られている生態ピラミッドの上のほうに居る。魚の中の序列は小魚→中型→大型といったように小型の魚が大型の魚につながる基礎的で重要な役割を演じている。従って、小魚が居なくなれば、大型の魚介類は減ってしまう。このように、意外にも海の生態系では小魚は海の中で重要/主要な位置づけを占めている。この小魚の食べる餌の多くは、カイアシ類と呼ばれる小型のエビのようなものや、植物プランクトンになる。小魚の好むカイアシ類は珪

藻類の植物プランクトンを好み、また小魚が直接餌にする植物プランクトンにとっても珪藻類は大切になっている。珪藻類は、顕微鏡で見ると外側にきれいなガラス質の殻を持っていて、これがこの種のプランクトンの特徴になっている。海の中のケイ酸は、珪藻が外側の殻を作るのに必須のものになる。

近年海水中のケイ酸濃度が減少し、これが海の生態系に異変をもたらしているといった報告を、多く目にするようになってきた。多分この始まりは、著

名な科学誌ネイチャーに1997年に掲載されたChristoph Humbargの発表した、黒海で起こった異常な植物プランクトン遷移の原因が、河川からのケイ酸供給の減少に係わるという報告ではないかと思う。

沿岸域にも基礎生産に直接関わる変化は起きている。

私たちの食の好みや、生活の常識は海の生態系にも変化を及ぼしている。例えばカキやホタテの養殖、海苔養殖業の発達は、驚くほど海の栄養の行き先を昔に比べて変化させてしまった。

カキ養殖では、カキの食べる植物プランクトンが海水中の栄養を取り込んで成長し、植物プランクトンの成長や量がカキの餌になっている。従ってカキは、海の中の栄養を形を変えて取り込んでいるといえる。カキの身の中心といえるタンパク質は、植物プランクトンの中の「窒素」がカキに取り込まれて出来ていくが、この窒素は宮城県でおおよそ一日平均6トン弱程度カキ養殖のために使われていると推測される。川の流量が多いときと少ないときで川が海に運ぶ窒素量は変化するが、宮城県でカキ養殖に使われる窒素量は北上川から海に運ばれてくる一日当たり窒素輸送量に対して、最小で約1割程度、最大では5割程度に達していることが試算から示されている。

このように大量の栄養が養殖に使われているとなると、海の生態系の異変には、栄養塩の奪い合い、すなわち浮遊生態系（植物プランクトン）と付着生態系（海藻類）のなかで競合が起きていると考えられることも出来る。

森の恵みが川を経て海にたどり着き、海を豊かにするといった物語の中には、海自身が昔と大きく変わったことを理解すると同時に、川や森の変化やその影響を見ていくことも大切になる。このような問題は、むしろ陸に住む我々の目に近いところを流れる川の問題でもあり、多くの人がその変化を認めるところでもある。ただし、森の恵みが海を育てているのか・・・といった問題は、もう少し奥が深い。海の必要な栄養の中で、海の中で不足しがちな微量元素は、確かに源流域の腐植土で作られているが、意外にもその濃度は低く、生物生産にとって必須な微量元素の川から海へ向かう輸送量全体としては、貯水池底層に溜まった底質や、田んぼからの排水に由来する中にむしろ多くの量が含まれているといった結果も出ている。

森が海の豊かさを支えるのといった話の本質に、海の植物プランクトンが豊かになる原因を結びつけるなら、二つの大きな要因から考えていかなければならない。その一つは、栄養の質や源で、もう一つは、川の水量になる。この中で、森は栄養の質から見えて優れているが、そのまま海に流れ下ることは無く、川の中で質的な変化が起きている。

海を育む森の恵みとは、実は海の生産と森の恵みや流域からの栄養の受け入れと、浄化や水質調整機能を持った、川の役割に負っているということもできる。川は実は森と海を結ぶなかなか優れた仲人なのである。

「十八鳴浜」のお話し

気仙沼市教育委員会 生涯学習課 幡野寛治

海はいのちのみなもと 波はいのちのかがやき
大島よ 永遠に みどりの真珠であれ

この詩は気仙沼湾に浮かぶ大島で生まれ育った童謡詩人、児童文学者として活躍した水上不二（1904～1965）のつくったものです。

十八鳴浜は、この不二が「みどりの真珠」と表現した大島（面積約9.05km²）の北東部にあり、太平洋に突き出した唐桑半島を望む、南北約200m、東西幅約20mほどの波静かで小さな内湾性海浜（ポケットビーチともいいます）です。

気仙沼市街、エースポートから汽船に乗り、ウミネコの歓迎を受けて約25分で浦の浜漁港に着きます。そこから車で「国民休暇村大島」を過ぎて大初平という集落に至ると、十八鳴浜入口の看板が見え、

浜に向かってマツ林が続く狭い山道を10分ほど下ると、まもなく心地よい波音が聞こえてきます。人家からも遠く離れているので、まるで秘境に辿り着いたかのようです。

浜の特色や伝承

浜の名前は、砂浜を歩いたり手で均したり、乳鉢ですると、絹ずれのような「キュッキュッ」とか「クグッ」という音をたてることから、九と九の二つを掛けると十八になるので「くぐなり」に転化し呼ばれるようになったと考えられています。

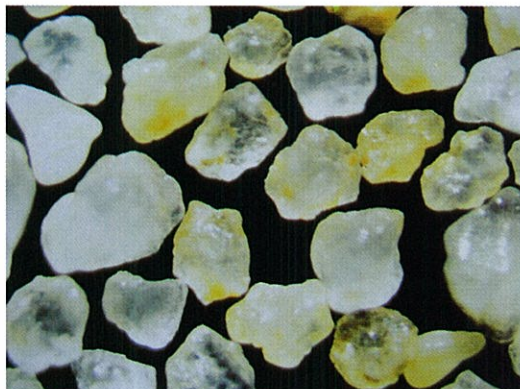
地元では「クゴナキ」「クゴナリ」とか「クゴ浜」などと呼ぶ人もいるので、昔の竪琴「空篳（くご）」に由来する説、ニワトリの「ククッ」という鳴き声に似ている説などもあります。また、犬が浜を走る

と音を聞いて走り回るといふ逸話があったり、十八鳴浜の近くには「スイ浜」（スイとは笛、箏（ひちりき）などを奏でる囃子や楽器のこと）や善知鳥浜（うとうはま）など音や鳴き声にちなんだ浜もあり興味が尽きません。

十八鳴浜が知られるはじめたのは、明治27（1894）年でした。当時の



『地学雑誌』の中で日本で初めて鳴り砂の浜として紹介されました。その後も学者などが来島して調査研究され、昭和30年代以降、全国で次々と鳴り砂



が発見されるまでは太平洋岸で唯一の鳴り砂として知られていました。

鳴り砂は、地質学的には浜の背後地に分布する中生代ジュラ紀中層部の舞根層という地質の石英を多く含む砂岩が風化して細くなり堆積した淡黄白色の砂で生成されています。

鳴き砂のメカニズムについては諸説ありますが、石英の粒子の大きさ、丸く磨かれた形状、石英粒の含有率などが影響するとされており、鳴り砂は硬く粒子の揃った細かい石英粒に圧力が加わると、互いに振動し、擦れ合って音を発生させることが分かってきました。鳴り砂の音の高低や響き方などは、季節や天候など自然環境に敏感に反応し変化します。

鳴き砂を守る取り組み

十八鳴浜は、昭和48(1973)年、気仙沼市の天然記念物に指定されました。その後、十八鳴浜研究会が発足し、鳴り砂の発音特性や環境への影響調査などが行われ、(財)トヨタ財団の研究コンクールで金賞を受賞しました。

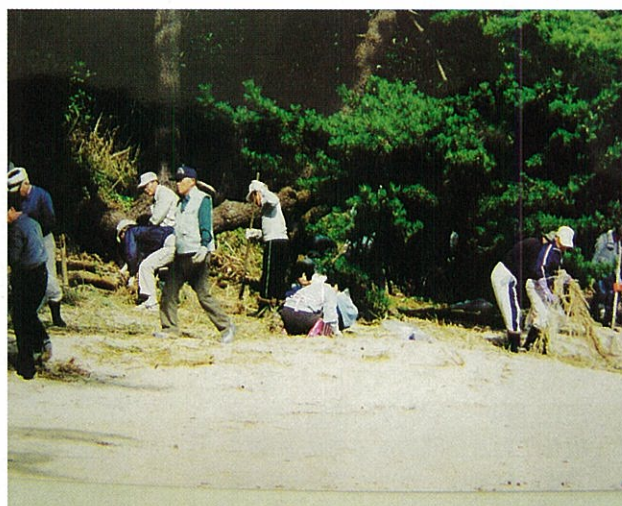
また、地元住民の皆さんによる清掃活動、観光ボランティアガイドや国民休暇村の自然観察メニュー、教育旅行の体験学習など鳴り砂を活かした取り組みが盛んです。

市教育委員会では、毎年、市シルバー人材センターに委託した定期清掃、パトロールを実施したり、「十八鳴浜の環境を守り自然に親しむ集い」を開催

するなど、美しい鳴り砂の浜を守ろうと努めています。

鳴り砂は、全国で約30ヶ所が確認されていますが、環境汚染に敏感に反応するため健全な環境が保たれているバロメーターであるといわれています。いまから10年前に(財)日本ナショナルトラスト(東京都)が、鳴り砂が貴重な観光・文化資源であると同時に海岸の環境指標のひとつであるとして、「全国鳴き砂(鳴り砂)ネットワーク」が結成され、毎年、各地の鳴り砂の地でサミットが開催されています。気仙沼市も加盟しています。

また、十八鳴浜は、「海の日」制定を記念した「日本の渚百選」や気仙沼市の「わがまちなんでも10選」のなかで自然の風景・景観、音の部門で1位に選ばれました。昨年には、地元のミュージシャンが水上不二の「クグナリ浜」という詩に作曲したり、鳴り砂をイメージしたCDができたりと新たな話題を呼んでいます。



平成17年度は初めての試みとして、7月29日町子供会連合会会員親子、国立公園パークボランティア等の方々も一緒に参加し、総勢115名によって第1回目の清掃作業を終了しました。

十八鳴浜の鳴り砂—その不思議さや自然の美しさは訪れた人々を魅了させる何かがあるのでしょうか。これからもこの音が絶えないようみんなで大切に守り伝えていこうと思います。

お知らせ

MeLnet 利用のご案内

MeLnet（みちのく環境情報リンケージ）は、主に東北地方で活動する各主体（行政、大学、研究機関、NPO、企業団体、その他の団体）間で、環境情報の共有化を促進させるネットワークです。宮城県環境アセスメント協会が運営・管理しておりますので、ネットへの登録、環境情報の投稿、環境情報の活用をお勧めいたします。

【 連絡先 ; jimukyoku@miyagi-asesu.jp (株)オオバ東北ビル内 】



編集後記

日増しに春の気配を感じる季節となつてまいりました。トリノオリンピックでは、荒川選手の活躍により日本中を大いに喜ばせる結果となりました。

当センターでは平成18年度検査棟を増設し、新規事業を計画しております。アスベスト（一部4月）、DNA（米の識別検査）の分析を7月から開始するため準備中です。詳細は、ホームページに掲載いたします。

編集委員

責任者 藤川 英助
阿部 喜一
遠藤 尚子
伊藤 仁
佐々木 あゆみ

当センターの登録・業務概要

○計量証明事業所 (昭和61 宮城県登録第19号 濃度) (昭和58 宮城県登録第48号 騒音) (平成6 宮城県登録第5号 振動)	水質（公共用水域、工場等排水）・底質・土壌等の分析、大気・騒音振動の測定
○飲料水水質検査機関 (平成16 厚生労働省第4号) (平成12 宮城県告示第235号)	水道水・井戸水、その原水の水質調査
○土壌汚染状況調査機関 (平成15 環境省指定 環2003-1-814)	土壌汚染対策法による調査・分析
○温泉成分分析機関 (平成14 宮城県指令第1号)	温泉水の分析、掲示板の作成
○産業廃棄物分析機関 (昭和54 宮城県環境事業公社)	各種産業廃棄物の分析
○下水道水質検査機関 (仙台市下水道局ほか)	下水の水質調査
○環境アセスメント (平成8 宮城県環境アセスメント協会)	開発事業の環境影響評価調査
○作業環境測定機関 (平成13 宮城労働局登録4-11号)	事業所内のあらゆる環境調査
○室内空気の汚染調査	ホルムアルデヒド他各種成分
○その他の公益事業	講習会開催、情報誌発行、研究助成、環境公害の相談

表紙 提供：気仙沼市教育委員会



ISO9001:2000

財団法人 宮城県公害衛生検査センター

〒989-3126 仙台市青葉区落合二丁目15番24号

TEL (022)391-1133 FAX (022)391-7988

本公衛検カプセルの発行は、当センター公益事業として行っており、毎年2回(3月・9月)環境関係業務に携わる方々を中心に、無償でお届けしているものです。