

理化学研究所 ニュース

Nov.—1978

No. 54

内湾における海水の交換

江戸と東京湾

1800年代初頭の文化文政の頃、江戸の人口は130万ないし140万人と言われ、当時世界最大の都市であったろうと推測されている。ちなみに産業革命後の急成長でパリをりょうがしたロンドンには、1801年に85万、31年に147万人であった。江戸というこの大消費都市の成立は、東京湾（江戸湾？）に臨んだ立地条件抜きでは考えられない。膨大な消費物資は、東京湾を通じた海運によって全国から集められ、埋立によって市街は広がり、新鮮な魚介類が湾内外から市民に供給された。

内湾、内海のが国の経済活動に占める重要性は、現在さらに加速されている。従来工業地帯と言え、世界的に内陸工業地帯を指したが、わが国は世界に先駆けて臨海立地の経済的優位性を認識し、今見るような延々と連なる臨海工業地帯を形成し、まれに見る経済成長を遂げた。

むしばまれゆく内湾

資源に乏しく、国土が狭少で、人口稠密なわが国にとって、このような立地形態の産業構造はやむを得ないと思われるが、経済効率を追い余り、白砂青松の海岸は埋立られてコンクリートの護岸に替わり、内湾の弱い浄化能力を超えた産業・都

市廃水の流入によって、青い海は濁りの海に化した。例えば図1は、伊勢湾における透明度の年々の変化をまとめたものであるが、高度成長の始まった昭和30年代始めから、透明度は急速に低下している。最近では水質規制も強まり、海は少きれいになったとの声も聞かすが、図のように透明度は依然として低下の傾向にあり、憂慮すべきことである。

私どもの研究室は、複雑に変動し、未知のことの多い内湾の流動と海況を正しくは握し、予測可能とすることを、一つの主要な研究課題としている。医者にとって、身体の構造やしくみの理解が不可欠であると同様に、かけがえのないこの内湾の保全や活用を図る上に、上記の知識は、基本的に大切なことと思われる。ここでは海水の交換について、私たちが調べてきたことを中心に、話を進めることにしよう。

海水の交換

いま瀬戸内海の各海域に、同じ量の物質を放出し続けたときの最終濃度の分布を求めると、図2が得られる。狭い明石海峡と芸予海峡にはさまれた内海中央部の諸海域は、海水の交換が弱くて物質がたまり易く、半ば湖の性格もっていることが分る。この海域で毎年のように赤潮が問題にな

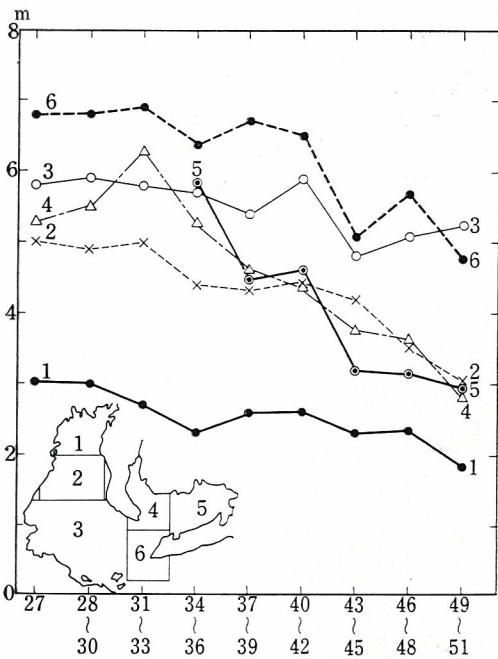


図1 昭和27—51年間の伊勢湾の各水域(左下挿入図)における透明度(直径30cmの白色円板が見えなくなる深さ)の経年変化

るのうなずけることで、環境保全には特別の注意が必要である。

この図でもう一つ注意しなければならないのは例えば大阪湾を見ると、播磨灘や備讃瀬戸などに投入された負荷の影響を強く受けていることである。他の海域も同様であって、しばしばそうであ

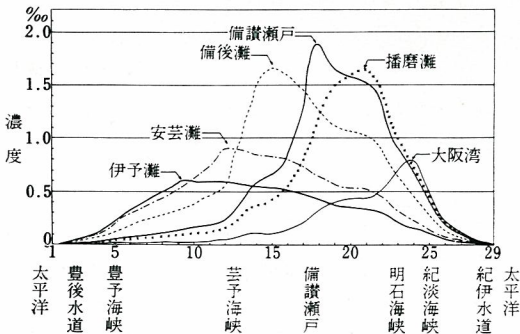


図2 瀬戸内海の各海域に同じ量の保存性物質を連続放出したときの最終濃度分布の比較 (横軸1目盛20km)

ったように、単に考えている海域への直接的負荷のみを考慮することは、大変危険であることを教えている。その後、瀬戸内海を全体として考えねばならないとの機運が高まり、呉に世界最大規模の瀬戸内海水理模型(長さ250m!)ができたのも、この方向に添うものであった。

内湾の海水交換の機能は、その海洋構造の形成や、上記のように海域の汚染に関係が深いので、若干の海域について、その強さを求めてみた。その結果、東京湾は伊勢湾などに比べ、交換の機能が弱く、汚染され易い体質であることが指摘できる。三河湾は、その地形と海況の特性から、富栄養化され易いことが理解できた。このことは図1において、三河湾(海区4、5)が汚濁負荷の割に透明度の低下が急速であることを説明してくれる。

特に興味深いのは太平洋に口を開いた浜名湖で、その狭い湖口のため湖水が半分交換するのに6年(半減期)という長年月を要することが分かった。実はこの湖口は、台風被災後改修固定されたもので、それ以後湖内の塩分などの水質は、10数年にわたって変化し続け、その結果、分布生物の種組成、資源量、ひいては漁業にまで影響が及んだ。この例は、環境のアセスメントに際して、非常に長期にわたる環境の変化を考えねばならないことを教えている。

海水交換のしくみ

内湾で最も目立つ流れは、1日2回周期的に往復する潮流で、特に湾口で強くなっている。この顕著な潮流の往復運動に伴って、海水の混合と交換が行われると考えるのは、自然のことで、これまでのアセスメントにおける数多くの水理模型や数値計算によるシミュレーションにおいては、そのほとんどは流動として潮流に注目している。それで済む場合も多いが、果していつもそれだけで良いであろうか。先に各海域の海水交換の強さに触れたが、実はこれは季節的に大きく変動し、変動の型は湾によって異なっている。潮流は季節的にさほど差が無いから、この点でも問題が感じられる。

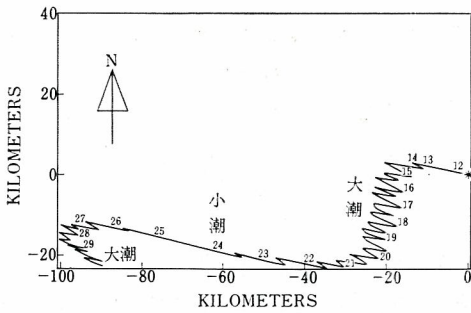


図3 東京湾口走水沖の海面下55m層における流れの進行ベクトル図 (1976年2月12日-3月1日)

図3は、東京湾口の走水沖深さ55m層における測流結果から描いた進行ベクトル図(刻々の流れのベクトルを次々に連ねたもの)である。ギザギザは振動する潮流を表わすが、水は全体として一方向に進み、この動きは小潮の頃大きく、大潮の頃小さい。潮流を除いた一方向の流れ、これを恒流という。これは鉛直循環流を形成し、下層で外洋水が流入し、上層で内湾水が流出している。こ

の流系は海水の入れ換わりに大きく貢献している。これまで海水の交換は、大潮で大きく小潮で小さいと考えられていたが、実は逆であったという一見常識と異なる例が、ここに始めてはっきりと示されたのである。同時に測られた水温、塩分の記録を調べると、潮の強弱に応じて鉛直混合の強さが異なり、これが海水密度の分布に影響して、鉛直循環流(密度流)の強さが変化したことが推測される。すなわち、潮流と密度流の相互作用として理解されるようである。現在この現象の解明に努めているが、このような研究も、近年計測器の開発が進み、かれつな海洋環境の中で、多要素の長期連続記録が得られるようになって、始めて可能になった。

もちろん内湾の置かれた地形的、外的条件によって、海水交換の機構は異なり、いつもこうではないが、単に二次元的な潮流のみに注目することの危険性が指摘できる。恒流は、潮流に比べて弱く、名前のように一定では無くて変動し易く、その成因もはっきりしないため、これまで余り注意

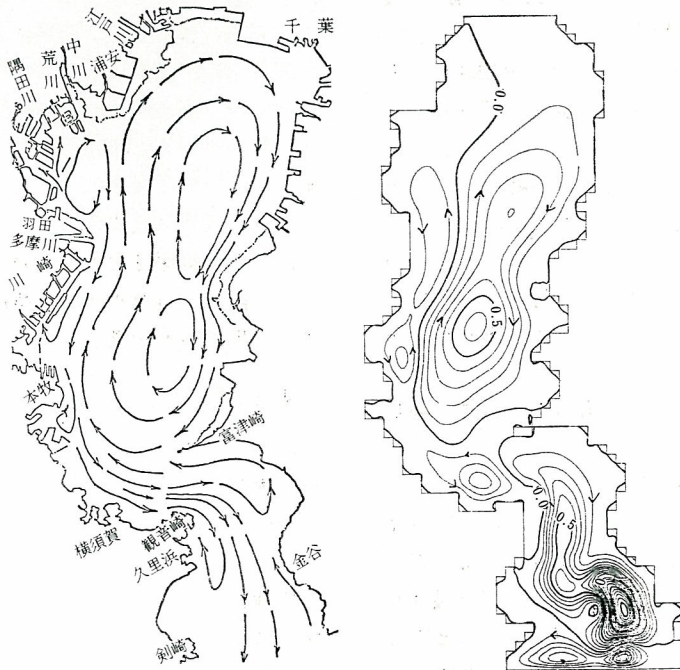


図4 左: 観測から推定される東京湾の寒候季表層の恒流模式図
右: 数値実験で求めた東京湾の北東風による流れのパターン

FEB. 25. 1977

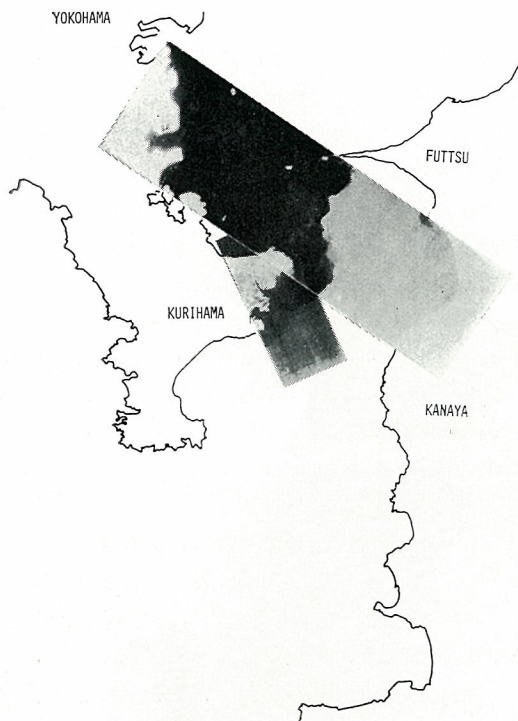


図5 東京湾口の航空機による熱映像（黒いほど水温は低い）。海洋科学技術センターおよびアジア航測協の提供による。

されなかった。しかしその重要性が認識され、その実態や成因について、観測、実験、理論の面から、各方面で活発に研究が進められている。

例えば、図3で示した恒流は、今年の冬の観測で、風とともに大きく変動していることが分った。数十mの深さまで風の影響が、このように強く及んでいることは、いささか予想外のことで、風による吹送流と密度流の相互作用の現われであろう。ともあれ、変動が多いとして、これまでと全く無視していた風の効果をもっと考慮する必要性が痛感させられる。

湾口を通しての海水交換に、上例のように、循環流（水平または鉛直）の寄与が大きい例は少なくないが、流入した海水がそっくりそのまま流出してくれば、海水交換は零である。内部で混合して流入時と違った濃度のものを運び出すことによって、始めて交換が行われる。そこで問題になるのは、内部の混合過程である。詳しいことは省くが、ここでも恒流—循環流—の役割が重要視され

る。

図4に、冬季の東京湾に考えられる水平環流を示したが、数値実験の結果によると、これも風（北東季節風）に起因するようと思われる、その実証に努力している。その他、恒流として、いうまでもないが河川水の流入、海面の加熱冷却の効果あるいは地形と潮流の非線形効果としての潮汐残差流などが、内湾の置かれた条件で、場合場合に卓越しているようである。その際、個々の素過程と共に、上例のように、それらの相互作用について注目しなければならない。

湾口部の不連続線

先に、湾口付近で外洋水は下層流入、内湾水は上層流出と述べたが、実態はもっと複雑である。図5は冬季東京湾口の熱映像で、海表面の水温分布を示す。明らかに、千葉県側に高温の外洋水が突っ込み、低温の内湾水は三浦半島にへばりつくようにして、湾外へ流出している。そして両水塊の境界は、驚くほど明確な不連続構造、すなわちフロントを形成している。このフロントの挙動は湾口を通しての海水交換に大きく影響しているはずである。数値実験の結果によると、この顕著な海洋構造は、海面の冷却と河川水の流入に伴う熱塩循環によるものと判断される。だが水深急変や地球自転の効果も無視できず、これらを総合的に組入れたモデルはまだでき上がっていない。さらに最近手に入れた熱映像は、もっと複雑な様相を呈し、自然の奥深さを示している。なお外洋の海況変動が内湾の海況や海水交換に及ぼす影響については、現在最も知識が不足している。

むすび

内湾と言えども、海は余りにも大きく、まさに群言象を撫でるの感がある。しかし理解し得たものの中には、観念的な常識と異なるものもあった。困難は多いが、このような事実を積み重ねて全体像を描き、貴重なこの内湾の姿を、少しでも深く理解したいと願っている。

海洋物理研究室
主任研究員 宇野木 早苗

開発テーマ

エキソ電子測定装置

エキソ電子の発見

エキソ電子 (exoelectron) という名は、金属の凝固時の発熱反応 (exo-thermic reaction) にともなって生ずる電子という考えから、命名されたものです。その発見後30年近くたった今日では、エキソ電子放出 (exoelectron emission, EE) を次のような特徴を持つ電子放出現象であるとするのが最も一般的です。すなわち固体の機械的処理 (研磨, 粉碎, 塑性変形等) や、放射線, 電子線, 紫外線照射の後, その表面から数 eV 以下の低エネルギーの電子の放出が起ります。この電子放出は, 前述の励起終了後時間と共に減衰してしまいますが, 光あるいは熱刺激により再び電子放出が起ります。またこの現象は, 室温以下液体窒素温度近くでも起ります。

EE は, 上記のような現象論的表現にとどまらず, 固体のバルクの性質 (不純物, 格子欠陥等) やその表面での吸着現象と深いかかわりを持っており, 多種多様な物理的・化学的過程にともなって生ずるものです。このために, 金属の疲労の早期発見や触媒作用の研究, 高感度放射線線量計の開

発, 放射線損傷の研究, 岩石からの EE を利用した地震予知など多くの応用的研究が試みられています。

ここでは, 新技術開発財団の助成のもとに当研究所の放射線研究室で開発した低エネルギー電子照射によるエキソ電子測定装置について紹介します。

測定原理

低エネルギー電子による固体表面の励起は, エキソ電子の運動エネルギーに比べてあまりにもエネルギーが大きすぎる放射線励起や励起の再現性に問題のある機械的処理に代るものです。またこの方法は, 数 eV の電子を固体表面に衝突させて直接エキソ電子の源である EE 中心を作ろうとする試みの一つです。

図1に低エネルギー電子照射によるエキソ電子測定法を説明するための略図を示します。電子銃で発生した熱電子を電子分光器を通して単色化させます。この単色化した電子は, 必要なエネルギーに加速または減速されて試料に衝突します。電流積算計を利用して一定量の電子を照射した後,

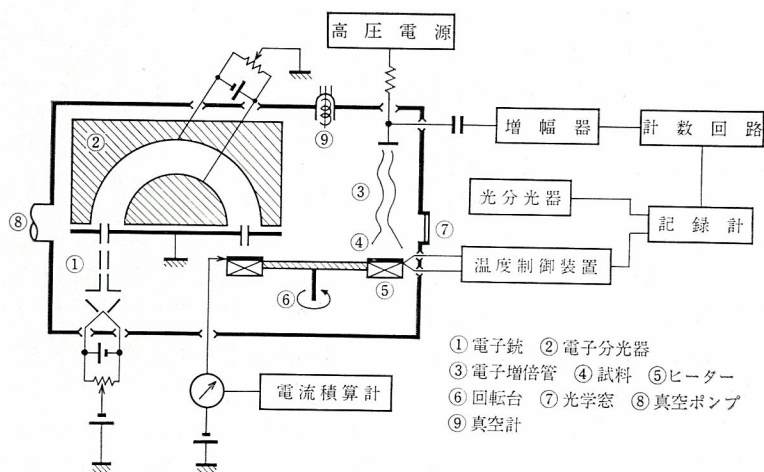


図1 低エネルギー電子照射によるエキソ電子測定装置のブロック線図

その試料を電子増倍管の下に持って行きます。そして試料は光もしくは熱刺激を受けエキソ電子を放出します。このエキソ電子は、電子増倍管により電子パルスとして検出され、増幅器を持った計数回路で計数されます。さらにエキソ電子放出強度（単位時間当りの放出電子数）を波長や温度の関数として記録します。

図2に本装置の外観を示します。試料、電子分光器、電子増倍管は真空容器内に格納されています。油拡散ポンプあるいはイオンポンプで容器内は、 10^{-7} Torr 程度の真空度に保つことができます。

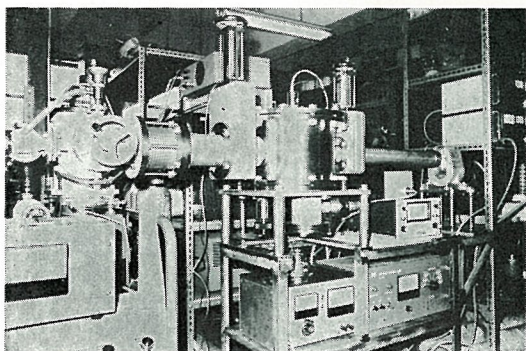


図2 低エネルギー電子照射によるエキソ電子測定装置の外観

EE 中心形成

図3に、予備実験で得られた10eV以下の低エネルギー電子照射した種々の物質からの熱刺激によるエキソ電子放出（TSEE）を示します。低エネルギー電子照射で容易にTSEEが起ることがわかります。これらの曲線の形はお互によく似ており、LiFを除いて、142, 210, 260°Cに共通のピークを持っています。各ピークの相対強度は物質に依存していますが、ピークの温度は試料の物理的・化学的性質に依存しないことを示しています。このことはEEが固体内部の現象というよりは、むしろ固体の最上表面である物理吸着層と密接な関係があるということがうかがえます。この考えは、超高真空での原子的清浄表面からのTSEEは起らないという事実からも裏付けられます。

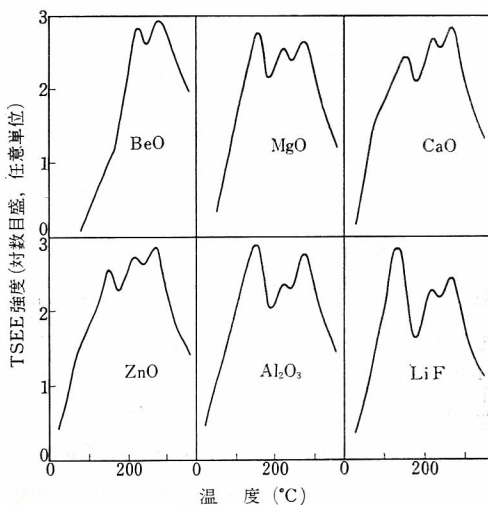


図3 低エネルギー電子照射した種々の物質からのTSEE曲線 加熱速度=1.5deg/s

今もし仮に物理吸着分子を自由分子と見なすならば、低エネルギー電子照射によって固体表面に負イオンが形成されるはずですが、この負イオンがEEに中心になる可能性があります。

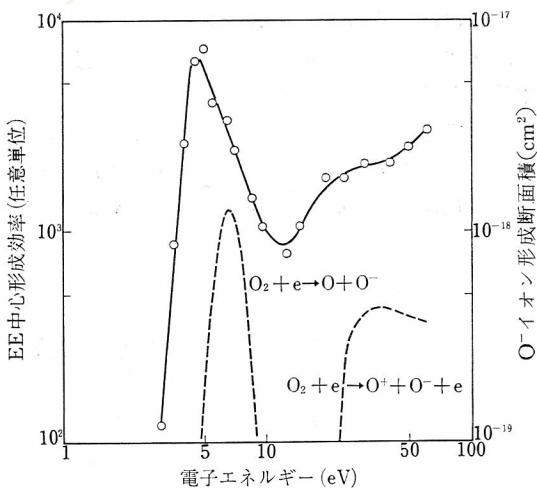


図4 EE中心形成効率の照射電子エネルギー依存性(○), (… O₂からのO⁻イオン形成断面積)

図4に、EE中心形成効率の照射電子エネルギー依存性を示します。また比較のためにO₂+e→O+O⁻で表わせる、気相中での酸素分子からのO⁻イオン形成効率をも同時にプロットしてあります。試料はステンレス鋼であり、図3の210°C

に対応するピークについてだけ示してあります。EE 中心形成のエネルギー依存性は O⁻イオン形成のそれと良く似ていますが、EE 中心形成エネルギーのほうがわずかに小さい。これは O₂にかぎらず H₂, H₂O, CO₂ などからの負イオン形成と比較しても同様です。これは自由分子と物理吸着分子の電子状態の違いによるのかもしれませんが。また一方、形成された負イオンが表面にとどまらなければ、EE 中心になりえないということも考慮する必要があるのかもしれませんが。

このようにして形成された EE 中心からの電子放出が、EE であると考えられます。

表面研究への応用と展望

表面研究に現在多く用いられている ESCA,

AES 等の方法は、超高真空中の極めて薄く結合の強い表面を対象にしているのに対し、EES (exoelectron emission spectroscopy) は現実表面 (よごれや吸着のある表面) を対象とし、そして最も結合力の弱い表面が物理吸着層です。EES がこの物理吸着層を電子を通して見ることを可能にし、表面科学に関する新しい情報を提供することになることを期待します。

また EES は、地球上の大気にさらされている物質すべてを対象とするものですので、固体にかぎらず生体表面で起っている可能性のある電子放出現象をもとりあつかうようになるかもしれません。

放射線研究室
主任研究員 浜田 達二

国内特許出願・実用新案登録出願公開明細

昭和53年7月～昭和53年9月に公開になったもの

公開番号	出願番号	発 明 の 名 称
(特 許)		
53-76471	51-152490	磁気分離装置
53-77089	52-146406	2(S)-4'-カルボメトキシ-ブチル-1'-3(R), 4(S)-0-イソプロピリデンテトラヒドロチオフェンの製造法
53-83677	51-158770	粒度分布の測定方法
53-87310	52-136489	メタクリル酸の製造法
53-87372	52-144885	ピリミジン系ヌクレオシドの製造法
53-87373	52-144886	ピリミジン系ヌクレオシドの製造法
53-91129	52- 5179	植物生長調節剤〔共願〕
53-99325	52- 11991	種子処理剤
53-106127	52- 21004	インクジェットプリンタ

シンポジウム開催日の変更

RIKEN Symposium on Symbolic and Computations by Computer, Date November 16 (Thursday) — Nov. 17(Friday) 1978を都合により November 27 (Monday) — Nov. 28(Tuesday) 1978に変更します。



「農薬の欠点」

農薬の欠点といえば、人畜に対して毒性があることと考える人が殆んどだと思いが、農薬には食塩よりも毒性の低いものもある。今の農薬の登録制度での毒性は、食品添加物と同様に取扱われているので、非常に厳しい。まず登録されている農薬は安全だと私は信じている。ところで、ここで述べる農薬の欠点は、そんなこととは全く関係のない話である。

今、ここで日本国民に「農薬という語句を知っていますか。」とアンケートしたら、恐らく90%に「はい。」と答えるだろう。つぎに「では実際に現物を見たことがありますか。」と問えば、「はい。」と答える人は50%以下になろう。そしてさらに「農薬のききめを見たことがありますか。」と問えば、「はい。」と答える人は10%以下になるのではなからうか。即ち、90%以上の人は、農薬とは毒性の強いものだという概念だけをもって、本当のききめを知らない人だといえる。これにはジャーナリストの責任もあって、豊作の時は天候に恵れたと書き、不作の時は病虫害にやられたとあたかも農薬が効かなかったように書く。いまだかつて、「今年は、天候に恵れた上に、今の農薬で効かないような病虫害の発生もなく、豊作にな

った。」とか、「気候不順に拘らず、農薬のおかげで被害を最小限に食い止められ、人類の最大のパニック、食糧危機を脱することが出来た。」という記事を見たことがない。しかし本当の責任はこのジャーナリストにもない。

私がここでお話したいことは、日本では身近な所で、なんら農薬のききめを示すようなことをしていないということである。まず皆さん、近くの公園へ行ってごらん下さい。そこに寝ころびたいような美しい芝生地があるだろうか。昼休みに工場の芝生地にだんらんしている所が何方所あるだろう。日本の大学や研究所で野外でミーティングしている光景を見たことがない。そしてそこには立派に農薬の研究室がある。芝生地の1例をとってもこの様で、その他の花卉、樹木などの管理の悪さは、つたない私の海外の十数ヶ国の訪問先と比べると、日本は最悪の国の一つだし、日本を訪問する外人は、日本では雑草園の中に、数十億円の近代設備を誇る工場やビルが乱立していると皮肉っている。勿論これは農薬だけの問題ではないが、農薬を上手に使用すれば今の数十倍美しくなることは確実である。これでは一般の人が農薬のききめがわからないのは当然ではなからうか。私は農薬が、もっと身近な所で、そのききめが皆にわかってもらうようにしないのが、今の農薬の最大の欠点だと思っている。

生物試験室
細辻豊二