

低いリスクの科学的解明に向けた挑戦



東北大学大学院医学系研究科
教授

小野 哲也

リスクの問題は個々人の日常生活に深く関与している。車を運転する時は日本に於ける年間死亡者数が約一万人であることと、どんなに慎重に運転しても対向車が飛び込んでくるなど不可抗力によって死ぬことがあることをうっすら思い浮かべ、覚悟する。この場合一応納得できるのはリスクのレベルが分かっているからであろう。しばらく前、エイズが初めて出てきた時は罹患者と接触するのはもちろん、手すりやつり革を介した間接接触でも感染してしまうと思ってパニックに陥った。同じ電車に乗っても大丈夫と得心するまでにはかなりの時間を要した。最近のアスベストについても「もしアスベストを吸ってしまったら40年後には100%肺癌か中皮腫を発生する」という妄想からなかなか抜けられない。これらの混乱の大きな原因はリスクの実体が分からないこと、特に、量-効果関係 (dose-response) が分からずリスクの程度が推定できないことにあるのではないか。

放射線についてはどうであろう。過去数十年にわたる研究の結果高レベル放射線による生体への障害の性質や程度はほぼ分かってきた。今後の課題のひとつはより低いレベルの放射線のリスクの実体を明らかにすることであろう。低レベル放射線による生体影響を高レベル放射線影響から外挿してよいものなのか、あるいは影響のみられない「閾値」が存在するのかなどの疑問に答えられるような実証的データを出してゆくのは科学的にも大きな課題である。もともと生体は外界からのさまざまな形のストレスに対しある程度は対応する能力を備えているので、細胞が死なないような低線量放射線に対しどのような応答をするのか興味もたれる所である。その意味からも、環境科学技術研究所が4,000匹のマウスを用い10年にわたる研究により明らかにした「自然放射線の約10倍の放射線を受けたマウスの寿命は非照射のものと変わらない」という成果 (Radiat. Res. 160 (2003) 376) は高く評価されよう。この研究では病理学的な検索や骨髄幹細胞、ゲノム、染色体などの解析も進められて興味ある結果が得られており、今後さらなる発展が望まれる。このような研究は長い時間と多くの人手、研究費、周到な用意などどれもが欠かせないものであり、巨大プロジェクトにならざるを得ない。しかし、日本の科学のレベルがこれだけの規模の研究を実行し得ることを証明した意味は大きいと思う。さらにこの研究は、最近話題になっている電磁波や遺伝子改変作物、さまざまな環境汚染物質などの低レベルリスクに対する評価をどう解決してゆくのかという問いに対してもひとつの応用可能なモデルを提供している。

低いレベルのリスクに対し科学的な証拠を提出してゆくことはこれからの挑戦のひとつである。

研究最前線

ミニ地球における食事のバランス

環境シミュレーション研究部 増田 毅



環境科学技術研究所は、生態系の中での物質の流れを研究するために、ミニ地球と呼ばれる閉鎖人工生態系施設を建設し物質循環システムの構築を進めています(短信ページ参照)。このミニ地球では、エコノートと呼ばれる居住者が、2頭のヤギと一緒に、外との物のやりとりなしで稲や大豆や野菜類などの食糧の他、水も空気(まで!)も自給自足した生活を行います。しかし、このようなことは実際に可能なのでしょうか?途中でヒトの吸う空気(酸素)がなくなったり、食べ物が足りなくなったりしないのでしょうか?逆に植物が増えすぎて収穫の仕事が間に合わなくなって腐ったり、酸素が多くなりすぎて火災の危険が生じたりしないのでしょうか?実際、同じように閉鎖人工生態系での自給自足を目指したバイオスフィア2というアメリカの実験では、酸素や食糧が不足してしまったということが知られています。ミニ地球は大丈夫?そこで、ミニ地球では、全体がうまくバランスするように様々な計算で予測シミュレーションや最適化が試みられています。ここでは、食事と栽培の最適化についてご紹介しましょう。食事の栄養は、育てる野菜から十分に取れるように、また、逆に多すぎたりしないようにしなくてはなりません、それも簡単ではありません。食事には、エネルギーだけでなく、蛋白も脂肪も炭水化物も必要ですし、色々なビタミンやミネラルも必要です。それらを全部満たすために、蛋白を多く含むダイズを植えたり、脂肪を多く含むラッカセイを植えたり、炭水化物を多く含む稲を植えたりしていくと……。順番になんでも増やして植えると、今度は特定のビタミンやミネラル、食物繊維が増えすぎるといった問題が生じます。例えば、ビタミンAの1日に食べて良い最大量を超えてしまえば健康によくありません。食物繊維が多すぎてもおなかをこわしてしまいます。さて、どうしたら……。このような多くの条件の下で最適な組み合わせを計算する方法として、ミニ地球の食糧計画では線形計画法と呼ばれる手法が使われています。線形計画法とは、 n 本の m 元1次不等式でつくられる m 次元の解空間における目的関数の最大あるいは最小値を求めることができる強力な手法です。その最初の解法である単体法はダンツィックにより1947年に発見されました。その後この解法は科学のみならず経済学にも応用されています。さて、ミニ地球での食事の最適化ですが、線形計画法の変数としては食事のレシピを使いました。まず、食事を使うレシピを100種類以上作成し、それぞれに含まれる栄養素や必要食材等データを入れたデータベースを作成、また、そこに30種類以上の作物の生産性等の栽培関連のデータを入れたデータベースを結合しました。これらのデータベースを最適化での変数として使う食事のレシピで記述したプログラムは、A4で1000頁以上になる膨大なものですが、これを先に述べた線形計画法のソフトを使用して解くと、家庭用のパソコンでも早ければ数秒で解いてくれます。コンピュータと解法アルゴリズムの高速化がこのような研究を可能にしてくれました。ミニ地球の物質循環システムの完成には廃棄物処理等まだ検討が必要な部分が残されています。今後も、このような技術を使いながら、システムの完成を目指していきたいと思っています。

第133回環境研セミナー

日時：平成17年6月20日（月）

講師：名古屋大学 工学部 応用化学 教授

原 口 紘 丞 氏

演題：メタロミクス（生体金属支援機能科学）構築のための化学形態別分析法の開発と生体・環境分析への応用

原口先生は、生体が生命活動を行う際には必ず様々な金属タンパク質を用いていることに着目し、生体中のこれらの金属タンパク質の種類及び働きを解明することにより、生命活動を解明していこうというメタロミクス（生体金属支援機能科学）を提唱した。メタロミクスは生命科学の新たなフロンティア分野として今後の発展が期待されている。

この学問を発展させていくためには金属タンパク質や金属酵素等の金属結合生体物質（メタローム）の化学形態別分析が不可欠である。対象となる物質の濃度が非常に低い場合が多く、高感度で形態分離能力に優れた分析法の開発が求められている。高感度な元素分析法である ICP-質量分析器に選択性に優れた各種のクロマトグラフ装置を組み合わせた分析手法が近年数多く開発され、メタロミクスに応用されるようになってきた。その中でもメタロームの分子量分画が可能であるサイズ排除型クロマトグラフ ICP 質量分析法は、得られた結果を他の質量分析器（昨年のノーベル賞で話題となった ESI（エレクトロスプレーイオン化）質量分析器や MALDI（マトリックス支援レーザー脱



原 口 紘 丞 氏

離イオン化）質量分析器等）の結果と比較することが容易であり、非常に有効な分析手法である。更に、将来は複数の質量分析装置を同時にクロマトグラフと結合した有機・無機複合分析法の開発が期待されている。

メタロミクスは、基礎生命科学の分野ばかりでなく、医療（抗ガン剤等）や健康産業（サプリメント等）にも深く結びついており、今後急速に発展していくものと考えられる。また、放射線の生物影響の分野においても、放射線の照射により生体中の金属蛋白質が変化することがよく知られており、メタロミクスの考え方は、今後の研究にとっても非常に重要である。（高久雄一）

第134回環境研セミナー

日時：平成17年7月29日（金）

講師：東京大学海洋研究所 浮遊生物分野助教授

津 田 敦 氏

演題：海野緑化、海と鉄と地球環境

地球温暖化の原因である大気中の二酸化炭素の増加抑制に向け、具体的な方策が求められている。その可能性のひとつとして海洋鉄散布が検討されている。海洋鉄散布が注目されているのは、海洋の基礎生産者である植物プランクトンの増殖が鉄濃度の律速により抑制されている海域があり、そこに鉄を散布することで植物プランクトンの増殖を促進させ、二酸化炭素を生物体という形で固定させるという点にある。またその付随効果として魚



津 田 敦 氏

類生産の増加という側面も考えられる。その一方で生態系に対する人為的関与といった未知の側面も有しており、鉄散布の二酸化炭素吸収効果の検証と海洋生物に与える影響を解明する必要がある。

鉄が不足している海域として、南極海、赤道湧昇域、北太平洋が知られている。南極海と赤道湧昇域ではアメリカを中心とした国際共同研究で中規模鉄散布実験が行われ、北太平洋では津田先生を中心とするグループにより鉄散布実験（SEED, SERIES, SEED II）が行われた。

SEED は北太平洋西部で実施され、他の海域に比べ植物プランクトンは鉄に対して早く強い反応を示し、その増殖により海洋表層の二酸化炭素分圧は大きく低下し、鉄散布の有効性が示された。

この成果は鉄散布による二酸化炭素吸収効果の有効性を示すとともに海洋生態系への影響を把握するための科学的知見を提供した。本講演で貴重な研究成果の一部をご紹介いただき、自然生態系を模擬した生態系による物質循環実験調査を実施する上で、有用な知見を得ることができ、大変意義深いご講演であった。（西野康人）

第135回環境研セミナー

日時：平成17年8月31日（水）

講師：（財）佐々木研究所 細胞遺伝学部 部長
及 川 恒 之 氏

演題：講演題目 細胞の分化、がん化と ETS 転写因子

血液のがんである白血病で年間6100名が命を落としている。これまで、ヒトの白血病細胞の染色体異常には、色々な染色体の関与した交換（いわゆる転座）が観察され、この転座部位には、血液細胞の分化に関与する転写因子の働きをする遺伝子かなりの頻度で存在することがわかっている。転写因子とはDNAがRNAに読み取られる（転写する）時に、その遺伝子の発現レベルを調節するタンパク質である。このような転写因子の一つに、フレンドウイルス感染で起こるマウス赤白血病に

関与するタンパク質として古くから知られているPU.1がある。PU.1はETS^{エッツ}転写因子群に属し、正常な血液細胞では、未分化な細胞からBリンパ球やマクロファージ、好中球に分化するときに必要な働きをしている。PU.1タンパク質の量が多い時には、Bリンパ球に、中間量の時には、マクロファージや好中球に分化する。少量の時には、赤血球、Tリンパ球に分化する。この仕組みを詳しく調べてみると、PU.1転写因子が他のいくつかのタンパク質と結合しその機能を促進したり、抑制したりすることで制御されていることがわかった。一方で白血病になった細胞を調べると、ヒトの白血病ではPU.1の量が減っていることに加えて、PU.1タンパク質をつくるためのPU.1遺伝子に変異があるのが観察される。放射線照射によって生じたマウスの白血病でも、PU.1遺伝子の存在する2番染色体が欠失し、その量が減少し、PU.1などの遺伝子の変異が生じている。よって、PU.1タンパク質の量が減少するのみでなく、さらにPU.1遺伝子や他の遺伝子に何らかの理由で変異が加わり、血液細胞の分化が停止される、その状態で異常に増殖することで、白血病が引き起こされると考えられる。ETS転写因子群に属する遺伝子は固形がんの発生にも関与していることが分かった。例えばEts-1はがん細胞が転移する時の浸潤に関与していた。幅広い働きのあるETS転写因子を標的として量を加減することでがん細胞の増殖や浸潤に対する分子標的療法も将来できるようになるかもしれない。放射線被ばくによりがんが生じる事と、PU.1遺伝子の異常がどのような関係にあるかを今後、調べていく上で大変役立つ発表であった。

（田中公夫）



及 川 恒 之 氏

第136回環境研セミナー

日時：平成17年9月9日（金）

講師：Biosphere Foundation

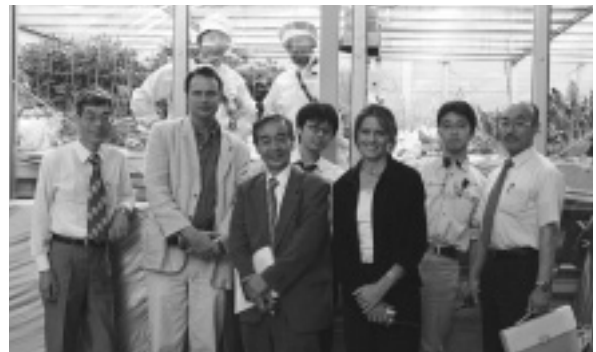
Dr. Abigail Alling

演題：Lessons Learned from Biosphere 2
and Laboratory Biosphere Closed Systems Experiments（バイオスフィア2より学ぶこと、および生物圏研究施設での閉鎖システム実験）

大規模な閉鎖型生態系実験施設であるバイオスフィア2では、1991年から1993年にかけて2年間の閉鎖居住実験が行われた。8名の居住者に必要な食糧の81%が施設内で実験期間中に生産され、低カロリー高タンパク質の食事をとることができた居住者の実験期間中の健康状態は良好であった。実験施設内の大気中の酸素濃度は実験開始後1.3年で21%から14.2%にまで低下し、日平均CO₂濃度は植物の光合成が盛んな夏には1000 ppmを下回り、冬には4000 ppm以上になった。また、CO₂濃度の日内変動も著しく、晴天日の夜間には日中より500～600 ppmの上昇が見られた。これは実験施設内の大気量に対する植物体量と土壌量の比

率が高く、植物の光合成と呼吸や土壌呼吸によるCO₂ガス交換の影響が大気CO₂濃度に反映されやすいためであった。

また、個々の作物のCO₂ガス交換特性を明らかにするために、生物圏研究施設において作物の栽培実験が行われてきた。その結果、大気CO₂濃度が1200 ppmと2000 ppmの場合では、2000 ppmで光合成が増加することが明らかとなった。人間が長期間居住可能な閉鎖型システムの構築に向けての今後の研究課題としては、さまざまな作物種における最適な光条件の決定、農業におけるエネルギーのトレードオフ（例として光強度 vs. 栽培面積）、土壌を使用した農業システムの最適デザイン、人間の排泄物を安全に再利用する技術、人間-植物-土壌間のガスバランスの維持が挙げられていた。（谷 享）



Dr. Abigail Alling（右から3人目）

短 信

「ミニ地球居住実験」順調に進む

外界と隔離した閉鎖実験施設の中で、栽培した植物が発生した酸素、最初に設定した一定量の水を循環させながら、栽培植物を食料にして、ヒトとヤギが生活する、第1回目の「ミニ地球居住実験」を今年9月6日から1週間行いました。

生活をしたのは、エコノートと呼んでいる研究者（男性）2名です。広さ50m²の生活場所は、ベッド、炊事設備、トイレ、シャワー、テレビなどがあり、朝の9時から植物栽培、動物飼育、センサーの整備を行いました。施設内での生活を通し

て、炭素や酸素等の物質の循環量を測定し、データを収集しました。ヤギが2頭一緒に生活したのは、稲わらを食べさせ植物の残渣の分解を助けるためです。9月10日には、日本科学未来館で新たに始めた「研究所からのライブリポート」第1回として、未来館の少年たちとエコノートがテレビ会議で対話をしました。

実験は順調に進み、酸素供給量、作物所要量など生活に重要なことが、最初の想定で十分であったことが分かりました。1回目の実験の結果を踏まえ、第2回目（9月27日から1週間）、第3回目（10月18日から1週間）を行い、実験データの精度を高める計画です。

受賞報告

環境研で進めている、エネルギーと情報以外は外部との物質のやり取りを一切行わない「閉鎖型生態系実験施設 (CEEF)」の研究開発に携わっている、環境シミュレーション研究部の多胡靖宏主任研究員が、生態工学会賞（学術賞）を平成17年6月4日に受賞しました。

この賞は、工学的手法を駆使して物質循環の仕組みの解明などを目指した研究を推進し、自然生態系に調和した持続可能な循環社会のあり方を追求している生態工学会から、生態工学関連領域の研究、技術開発について、体系的かつ総合的に評価できる学術上の業績を上げた者に授与されるものです。¹⁴Cの生態系への移行蓄積の研究のため、開発を進めてきた CEEF における栽培システムが評価されました。

高強度光の照明による光の供給、温度、湿度、二酸化炭素濃度および酸素濃度の制御、微量有害ガス（エチレン等）の除去、廃棄養液などからの水の循環再利用、廃棄物処理液などのミネラル回収・再利用などによって、CEEF 内で生活する者への空気、食料の供給を可能としました。



新職員紹介

広報・研究情報室

伊藤 寿



7月1日付けで環境研に採用され、広報・研究情報室に配属となりました。蒸し暑い東京から移り住み、非常に過ごしやすい気候にとっても満足しております。また生まれは鹿児島、育ちは横須賀（神奈川）と雪はあまり見られないところの育ちですので冬が楽しみでもあります（と言われているのも今のうちみたいです）。

今回、放射線等の科学知識の普及活動に関する業務という一風変わった募集内容に目がとまり、これだと思い応募したところ運よく今日に至っております。もともと原子力や放射線に関わりをもったのは大学の原子力研究所でホットアトム化学反応に関する卒業研究に携わり、それが縁で東京都立アイソトープ総合研究所に入所したのが始まりです。その間、高分子材料の電子線照射効果を利用した産業利用に関する研究や普及活動、技術相談、依頼試験に携わってまいりましたが、その後異動や組織改変を経て東京都立産業技術研究所で高分子材料の加工、物性評価に関する技術相談・依頼試験などをしておりました。人と接することが非常に多い職場でしたので、このような経験が少しでも普及活動に役立てばと思っております。

趣味は浅く広くという感じでこれ！というものはありませんが、青森はお酒、食材、自然のいずれにも恵まれているので、これを味わえるような趣味をもちたいと思っています。仕事だけでなく遊び、趣味の面でも皆様のご指導ご鞭撻のほど、よろしくお願いいたします。

環境研ニュース 第51号 2005年10月

〔編集発行〕 財団法人 環境科学技術研究所

〔編集責任者〕 広報連絡委員会委員長 武山 謙一

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈字家ノ前1番7

☎ 0175-71-1200(代) FAX 0175-72-3690 URL : <http://www.ies.or.jp>

〔印刷〕 (有)アート印刷