

## ■ 読者投稿欄

### ひょうご SPring-8 賞

佐々木泰三 (東京大学名誉教授, 兵庫県参与)

#### 1. ひょうご SPring-8 賞

兵庫県は平成15年度以来「ひょうご SPring-8 賞」により, SPring-8 の放射光を用いて優れた研究成果を挙げた個人またはグループを表彰している。すでに平成15年度, 16年度と二度にわたり表彰を行ったが, その受賞者は次の通りである。

##### 第1回 平成15年度受賞者とその業績

淡路直樹 富士通研究所主任研究員

エレクトロニクス用ナノ薄膜の超精密構造評価技術の開発

二宮利男 前兵庫県警科学捜査研究所長

放射光映像技術・分析技術の科学捜査への応用

山本雅貴 理化学研究所播磨研究所副主任研究員

蛋白質結晶構造解析高度化への貢献

##### 第2回 平成16年度受賞者とその業績

高田昌樹 JASRI 研究促進部門 I 主任研究員

新機軸の粉末回折法の開発による物質科学への貢献

泉屋博古館古代青銅鏡放射光蛍光分析研究会

SPring-8 を利用した古代青銅鏡の放射光蛍光分析

田中 均 JASRI 加速器部門 副主任研究員

SPring-8 蓄積リングのビーム性能の向上

これら受賞者の業績の内容については後述するが, その前にこの賞が設けられた趣旨と経緯について紹介しておきたい。

#### 2. 「ひょうご SPring-8 賞」設定の経緯と趣旨

兵庫県は県南西部に造成した西播磨テクノポリスの中心施設として SPring-8 を誘致し, 研究・教育・産業・医療施設を中心とした地域のインフラ整備を, 施設の建設に先立って計画的に実施した。着工後20年余を経て, 現在この地域はこれら施設群と居住地域を持つ「播磨科学公園都市」として次第に成熟しつつある。その中で兵庫県は SPring-8 の立地する140ヘクタールに及ぶ敷地の出資者として国の事業を支援し, また SPring-8 を活用して県下の先端産業や地場産業の振興にも寄与するため, 県立大学理学部, 研究支援センター, 粒子線医療施設など独自の事業主体の建設, 企業施設の誘致にも多大の努力を注いできた。

幸い理化学研究所・日本原子力研究所の共同建設チーム

の数年にわたる努力によって SPring-8 は順調に完成して, 全国の産官学の研究者に極めて高輝度の X 線を供給し, 完成後7年余を経過して既に多くの優れた成果を生み出しつつある。その成果は徐々に社会の認知を得つつあるが, SPring-8 のような基礎科学から応用技術, 更には産業・医学など社会全般のニーズに応える広範で多面的な活動の全貌について一般の理解や認識を得ることは必ずしも容易ではない。SPring-8 自身もその広報活動に日夜努力を傾注しているが, 研究所としての活動は巨大加速器を中心として一体で運営されているにも拘らず, その活動の全容を把握し, 評価することは専門家にとってすら容易ではない。まして一地方自治体がこのような国の巨大研究機関を支援していること自体が極めて異例であって, その経費の支出を支援してきた県議会, 県民の理解を得るためにも, 県としては広報への格段の努力が求められている。

そのような県民, ひいては社会一般が SPring-8 の事業の意義や成果への認識を高める方法として, 優れた成果・業績を表彰するというのは極めて有効である。それは兵庫県がこの事業を支援してきたこれまでの行政の姿勢への説明責任 (Accountability) の一部と位置付けても良い。兵庫県では平成15年度に表彰のための組織「ひょうご SPring-8 賞実行委員会」を創設した。この実行委員会のメンバーは井戸敏三兵庫県知事, 熊谷信昭ひょうご科学技術協会理事長 (兵庫県立大学長・元大阪大学総長), 宮本一放射光活用委員会委員長 (関西空港㈱会長・㈱きんでん会長) の3氏である。候補者の選定には兵庫県が放射光産業利用のために設置している「放射光活用委員会」に選定部会を置き, 15年度は7名, 16年度は8名の委員を指名し, 私が部会の取りまとめの責任を引き受けることになった。

賞の対象は SPring-8 の研究成果のうち, 「産業・医学への応用を含め, 将来, 社会経済全般の発展に寄与すると期待される」成果を挙げた個人, または研究グループ, 企業等となっている。この基本方針は当然過去2回の表彰に反映されているが, 既に述べたとおり, SPring-8 は極めて広範囲の研究対象を持つ, 多目的研究機関であるから, 多くの業績を単一の基準で評価したり, 目的によって軽々に選別したりすることは適当でない。しかし一方, 年度内で表彰する件数に限りがある以上, 単年度の表彰でさまざまな分野すべてに公平に目配りをするのはこれまた至難である。従って選考の公平性はある程度長期的な選考過程を通して配慮するしかない。

先に述べたように兵庫県は SPring-8 の建設に当たって敷地の出資、地域のインフラ整備等に多大の貢献をしてきたが、研究活動にも応分の参画をしており、兵庫県が運営する独自のビームライン 2 本 (BL24XU ; BL08B2 (建設中)) を建設・運用して県内外の研究機関、民間企業の利用に供している。また兵庫県立大学 (前姫路工業大学) に理学部を新設して、SPring-8 を利用する研究者グループを育成するだけでなく、高度産業科学研究所を付設して SPring-8 の入射器から電子ビームの供給を受ける中規模放射光施設「ニュースバル」をも建設・運用している。

SPring-8 は設立の経緯からも、産業技術への貢献を国や経済界からも期待され、そのために種々の努力を払っているが、兵庫県もこれら独自の施設を通じて SPring-8 の産業応用の一環を担って重要な役割を果たしてきた。それにも拘らず、SPring-8 の基本的性格は物理学・化学・生物学の基礎的研究を担う総合的研究施設であり、またそれを推進するための基盤技術はすべての研究の根幹をなしている。従って基礎的な性格をもつ研究を表彰の対象から外すことは不適當であろう。今直ちに「産業・医学」への応用に結びつかなくても、いずれはそういう展開が予想される基礎的研究の例は少なくないのである。従って選考に当たっては、非専門家の理解が容易でないからと云って、重要な基礎研究や基盤技術の成果を選考の対象から排除するような方針はとっていない。そのような配慮を充分に加えた結果が、この 2 年間の選考には反映されている。

以上が「ひょうご SPring-8 賞」成立の背景と考え方である。以下に過去 2 年度の受賞者の業績と表彰の理由を簡単に紹介する。

### 3. 平成 15 年度受賞者の業績

初年度、平成 15 年度の受賞者は前記の通りであるが、先ず最初の淡路氏の仕事から順を追って紹介しよう。

淡路氏は富士通研究所の主任研究員。授賞対象となった仕事は「エレクトロニクス用ナノ薄膜の超精密構造評価技術の開発」である。この仕事は SPring-8 の産業応用ビームライン BL16XU で行われた。これは共同利用 BL ではなく、産業界がコンソーシアムを作って共同で運営している「専用ビームライン」である。

20 世紀後半に出現した固体のエレクトロニクス、特に第 4 四半期に急速な進歩を遂げた集積回路と情報技術の革命は現代産業の技術的基盤や社会生活の様式を全面的に変えてしまった。その社会経済に与えたインパクトは 18 世紀の産業革命のそれを遙かに超えるものがある。情報通信技術の基盤となる固体素子の微細化は 3 年を 1 世代として進み、既に四半世紀以上を経過して未だに止まる気配がない。それに伴ってデバイスの製造技術は極限の微細化を追求している。現在では演算素子も記憶装置も主要部分が薄膜、多層薄膜であって、その品質、性能は高度な製膜技術を駆使して作られたナノ・スケールの薄膜の表面や界

面の状態を精密に評価する技術に依存している。

今回評価された淡路氏の仕事は二つあって、一つは X 線全反射の精密測定による超薄膜の膜質評価である。これによって例えば次世代 LSI に用いられる膜厚 1 nm 以下のゲート酸化膜の膜質、すなわち厚さ、密度、表面・界面構造、歪等を精密に評価できる。もう一つは斜入射 X 線蛍光測定による多層薄膜の膜質評価法で、これによってハードディスクの読み取り用ヘッドに用いられる GMR (巨大磁気抵抗) 多層ナノ薄膜素子の膜質の評価が可能になった。いずれも最先端の IT デバイスの評価を可能にした画期的な技術で、全反射の干渉パターンを 12 桁のダイナミックレンジで測定した実績は特筆に価する。このような成果は言うまでもなく、SPring-8、特にそのアンジュレーター・ビームラインの高輝度、つまり強く平行な X 線のおかげで始めて可能になるものであって、その特性を遺憾なく発揮した実験であると云ってよい。

次に、二宮利男氏は前兵庫県警察本部科学捜査研究室長で、同氏の受賞研究は「放射光映像技術・分析技術の科学捜査への応用」である。SPring-8 の放射光は和歌山で発生した亜硫酸殺人事件で証拠品の鑑定に貢献して一躍世間の注目を集めたが、兵庫県警は SPring-8 の地元である関係上、それ以外にも多くの犯罪捜査、試料鑑定に SPring-8 の持つ優れた分析評価能力を利用し、新手法を開発した。二宮氏は科学捜査研究所の責任者としてその実証試験のみならず、多数の有力な物理分析手法開発の中心となった。主な手法は蛍光 X 線分析であるが、SPring-8 の高い電子エネルギーのおかげで容易に得られる硬 X 線は試料中の重元素成分の鑑定に極めて有力で、例えば自動車塗装膜の微細破片からの車種特定、微小ガラス破片の異同特定など、捜査に欠かせない迅速な鑑識が容易に行える。また拳銃の発砲残渣による銃種の特定、押収した麻薬の生産地の特定など応用範囲は広い。それ以外の手法としてはマイクロビーム X 線による微小試料の鑑定、平行 X 線を利用する屈折コントラスト分析法などは毛髪や繊維、テープなど軽元素の多い有機物試料の鑑定に有力である。意外な応用としては同氏らのグループが隕石の分析で成果を挙げたことがある。物体が県内の民家に落下して屋根に損傷を与えたとき、それが事故または犯罪か、自然現象かはその物体を鑑定してみるまでは分からない。従ってその判定は警察の所管になるという。たまたまその隕石は分析結果から学術的価値の高い希少品種であると専門家に判定され、話題となった。

放射光の科学捜査への応用は過去にフォトン・ファクトリーで警察庁の科学捜査研究所が実証試験を試み、有効性を証明したことがあるが、種々の制約から実用化には至らなかった。兵庫県警の放射光利用は SPring-8 の蛍光 X 線ビームラインと兵庫県 BL とで実施されたが、二宮氏らの一連の研究によって明らかにされた放射光、特に SPring-8 の高輝度放射光の有用性は画期的なもので、実用化への

道は確実に開かれたといえる。

この年度のもう一人の受賞者、山本雅貴氏は理研播磨研究所の副主任研究員、理研の構造生物学ビームラインBL45XUの担当者である。

SPring-8の運用開始以来、研究活動が最も活発で、多くの優れた成果が上がっている領域の一つは蛋白質の構造解析である。ヒトゲノムの解析が一段落して生命研究の中心課題が蛋白質の構造と機能の解明に集中し、今後かなりの長期的な研究の展開が予想されている現在、その最有力研究手段としての放射光の役割は大きい。地球上の生命を支える蛋白質の種類は100億とも1000億とも言われる。現在までに構造が解明され、世界のデータベースとして登録されている重要な蛋白質分子の数は急速に増えてはいるが、それでもやっと2万を越えたところであるという。1991年にアメリカで刊行された教科書には300以上の蛋白質の立体構造が分かった、と誇らしげに書いてある。放射光の出現以来進歩がどのくらい早いを示す証拠ではあるが、それにしても現在分かっているものは未だ人類が必要とする知識のほんの一部に過ぎない。

SPring-8では現在共用・専用をあわせて11本のビームラインが蛋白質関連研究を支えており、SPring-8で解明された蛋白質の立体構造の絵はNature, Science等の表紙を何度も飾ってきた。従ってSPring-8の成果のハイライトとしてこの分野の優れた研究を第一回の表彰で取り上げることは選定委員会のポリシーでもあった。

蛋白質の構造決定が社会生活で何の役に立つのか、それは例えば20年前、コーネル大学で放射光を用いて成功した「かぜウィルス」の立体構造の解明が、現在世界各国の政府がインフルエンザ流行に備えて備蓄を進めている特效薬「タミフル」に結実した一例でも理解できるだろう。ウィルスの増殖を阻止するこの薬は構造決定から10年後に米国で認可発売されたものである。

わが国の蛋白質研究の歴史は古いが、その研究の層の厚さでは欧米にかなり後れを取り、つくばにフォトン・ファクトリーが出来るまでは活動は微々たるものであった。フォトン・ファクトリーで坂部教授を中心とするグループの活動で日本の蛋白質構造解析の研究は軌道に乗ったといえる。しかし現在は筑波に加えて、更により高輝度なSPring-8の研究グループが参画したことで、筑波の活動とあわせてわが国のこの分野の貢献は国際的にも有数のものと認知されるところまで成長した。特にSPring-8ではその高輝度・高エネルギーの特性を活かして「重元素同型置換法」を全面的に導入し、高精度の構造解析を標準技術にした。更に試料の冷却装置、試料自動交換装置、データ解析の自動化など、多くのユーザーが短期間で測定や解析を終了できるシステムを完成してビームラインの効率化を実現した。山本氏自身も勿論蛋白質研究の専門家であり、同氏自身構造決定に参画した個別の研究でも多くの優れた業績を残しているが、ビームラインの建設と開発に献身し、現

場に常駐して多くの共同利用者の研究を支える担当者が、入れ替わり立ち代りに現れる外部のユーザーの華々しい成果の陰でその貢献を見落とされる危険はこのような共同利用研究所では常に起こりがちである。今回は個々の輝かしい成果の表彰を先送りにしても、この優れたビームラインの完成と日常の運用を一手に担ってきた山本氏の功績を表彰することで選定部会の意見が一致したものである。

#### 4. 平成16年度受賞者の業績

平成16年度の表彰は個人2件とグループ1件となった。

高田昌樹氏は現在JASRI研究促進部門の主任研究員であるが、同氏の授賞対象となった業績はかなりの部分が、同氏が名古屋大学工学部の所属で外部ユーザーとしてSPring-8のビームライン建設に参加していた期間に挙げたものである。表彰の対象となった業績は「新機軸の粉末回折法の開発による物質科学への貢献」である。

粉末回折法はDebye・Scherrer(デバイ・シェラー)法とも呼ばれ、結晶構造解析法としてはLaue(ラウエ)法とならんで90年近い歴史を持つ古典的な手法である。これは綺麗なラウエ回折像を撮るのに必要な良い結晶が得られない場合、粉末試料によって回折像を得る方法で、ラウエ法を補う手法として古くから用いられてきた。高輝度X線を発生する第三世代放射光光源の出現によって粉末回折法が大飛躍を遂げ、X線結晶解析に画期的な新手法になるのではないかと、という期待は専門家の間で早くから話題になっていた。

高田氏を中心になってSPring-8で完成した粉末回折計はその予言を見事に実証したばかりでなく、予想を遙かに超える強力な測定技術として発展した。近年開発の目覚ましい新材料の結晶構造だけでなく、その物性、すなわち従来はX線結晶学の対象外であった電子構造の解明手段としても威力を発揮し始めた。SPring-8の高輝度放射光が粉末回折法を構造解析の花形に押し上げたのは疑いないが、もう一つの要因は高田氏らが名古屋大学坂田教授の研究グループで導入した「最大エントロピー法」という画像処理手法が大きな成功を収め、次々と画期的な成果につながったことである。これは光学や天文学では既に用いられている有力な画像情報処理の手法であるが、粉末回折への応用によって構造解析の精密化に大きな威力を発揮することになった。近年先端産業技術の高度化に伴い、それを促進する多くの新材料の発見、開発が相次ぎ、その構造や機能の起源を追及する物性研究への要望が高まっている。しかし新材料というのはその発見や合成成功の初期の段階では微量、或いは結晶の育成が困難、という状況で登場することが多い。そのような新材料の構造の迅速な決定、機能の解明に粉末回折計が威力を発揮する場面は少なくない。

高田氏の成果は枚挙に暇がないが、以下はそのごく一部である。例えば炭素60個、あるいはそれ以上の原子がサッカーボール状に球面を作る分子の空孔内部に金属を閉じ

込めた「金属内包フラーレン」 $Y@C_{82}$ ,  $Sc@C_{66}$ などの構造を解明したり、その構造が金属原子から球面上の炭素への電荷移動によって安定化することを確認した。フラーレンの誘導体はその特異な物性によって将来様々な応用が期待される新機能材料の宝庫と期待されている。

またマンガン酸化物の中には外部磁場によって電気抵抗が数桁も変化するものがあり、次世代の記憶・演算素子材料として注目を集めている。その結晶は原子配列だけでなく、電子配置にも結晶固有の秩序があって、これが物性を支配する、という事実を直接観察によって示し、注目を浴びた。

エネルギーや環境問題解決の方向として近年燃料電池の開発が急がれているが、水素吸蔵合金はその花形である。しかし水素は元来ラウエ法では散乱強度が低いので、その結晶内の配置や結合状態の特定は困難であった。しかし高田氏らの粉末回折計は結晶内の水素の位置や結合状態を映像化することを可能にし、この点でも将来の発展が期待されている。

高田氏が中心となって完成した粉末回折ビームラインBL02B2は重元素から軽元素まで僅か数ミリグラムの試料によって世界で最も統計精度の高い粉末回折データを得られる装置を実現した。それには低温、高温の測定、ガス吸着のその場観察のための装備もあり、幅広い分野の強力な新規ユーザーを積極的に結集して共同研究を推進している。これらの成果がNature, Science等の有力専門誌の表紙を飾ることも多く、この点でもSPring-8の中で際立っている。

次に紹介する受賞者グループ「泉屋（せんおく）博古館古代青銅鏡放射光蛍光分析研究会（代表者 樋口隆康氏）」はSPring-8の利用者としては極めてユニークな団体で、授賞対象は「SPring-8を利用した古代青銅鏡の放射光蛍光分析」である。

泉屋博古館は元禄時代に別子の銅山から出発して明治以後大企業集団に成長した住友グループの創立者住友家が、中国や日本の銅にまつわる古美術品を蒐集し、これを京都岡崎の旧住友別邸で公開しているユニークな博物館である。その所蔵品の中には中国、或いは古代日本由来の青銅鏡が多数あるが、周知のごとく、中国の史書「魏志倭人伝」に魏の皇帝が女王卑弥呼に百枚の青銅鏡を与えたという記述がある。わが国に現存する古代青銅鏡でそれに該当するものがあるのか、もし特定できればそれはわが国の古代史の謎を解く鍵になると云われる。今回の研究は泉屋博古館が所蔵する8枚の「三角縁神獸鏡」を中心に、79面の中国鏡、18面の日本鏡の不純物成分を蛍光X線分析法により比較測定して、それぞれの鏡の材料の特徴で分類したものである。その結果は極めて興味深いもので、材料となる青銅の不純物の特徴からは「三角縁神獸鏡」は8枚中6枚が、卑弥呼が魏の皇帝から鏡を贈られたという3世紀前半の三国西晋時代の中国鏡と同じ材料を用いている、とい

う事実が判明した。さらに古い時代の中国鏡、また日本で製造された古代鏡は不純物成分から見て明らかに別の分類に入ることも証明された。

貴重な古美術品の成分鑑定には一般に非破壊方式が強く求められるが、錆や汚染による変質の恐れがある試料表面の分析では疑問の余地が残る。この研究ではSPring-8の特徴である強力な硬X線成分、この場合は70 keVの単色光を励起光として利用することによって、表面状態に影響を受けない鏡内部の成分の蛍光を測定していることが分析の信頼性を高いものにしていく。すなわち、特性波長が比較的長く、吸収を受けやすい銅を標準にするのではなく、青銅の主成分の一つであるより重い元素の錫の含有量を基準にして、錫に近い原子番号を持つ銀とアンチモンを不純物の指標として選択した点で、着想が極めて優れている。この波長を選択すれば励起光・蛍光のどちらも表面には影響を受けず、また内部でも大きな吸収を受けずに検出され、鏡の素材中の特徴的な不純物成分比を正確に示すことになる。

この研究で直ちに鏡の由来がすべて解明されるわけではないにしても、今後の研究によってわが国の古代史の謎の解明に向かって新たな展開が期待されることは疑いない。SPring-8がその高いX線エネルギー、高い輝度によって、考古学、古代史といった新しい応用分野で社会的貢献に道を開いた点で、この成果の意義は大きい。泉屋博古館所有の試料だけでなく、奈良の橿原考古学研究所など、由来、出所の明らかな新史料を測定対象に追加することによって、SPring-8での古代青銅鏡研究の今後の発展には大きな期待がもたれている。

平成16年度のもう一人の受賞者はSPring-8の管理母体、JASRI（高輝度光科学研究センター）副主任研究員田中均氏である。その業績は「SPring-8蓄積リングのビーム性能の向上」である。上記の授賞対象となった優れた業績を始め、SPring-8が生み出している成果はすべて世界最高水準といわれるSPring-8の高輝度と高い安定性に支えられている。SPring-8の順調な完成とその後の目覚ましい性能向上を見ると、利用者も一般社会も加速器というのは市販のテレビのようにスイッチを入れれば忽ちご機嫌で動いてくれる扱いやすい機械かと錯覚するかもしれない。しかしこれはとんでもない誤解で、第三世代の高輝度放射光施設の計画が持ち上がった1980年代には、高輝度（低エミッタンス）の電子ビームを安定に蓄積することは「不可能」である、という「理論」的予測が全世界を駆け回り、加速器設計者はその「予言」を覆す解を求めて日米欧で衆知を集め、大奮闘したのだ。その結果「第三世代」の高輝度放射光光源は世界中で見事に実現したが、その高輝度光源の建設過程で加速器科学そのものも軌道設計理論・運転制御技術のすべてに於いて大きな進歩を遂げ、目標を達成して余りある成果を挙げた。加速器の設計や運転は既存のノウハウやマニュアルが間に合う「完成技術」ではなく、それ

自体が絶えず進化の過程にある高度な「研究」なのである。SPring-8の電子ビームは平成16年現在、100 mAの蓄積電流を垂直方向20ミクロン、水平方向1ミリ、長さ10ミリで、垂直方向の位置の変動幅1ミクロンという安定度で供給しており、垂直方向のビームの平行度は2秒である。この高い輝度と安定度がなければ例えば高田氏の粉末回折計が現在のような高い精度で微小試料の高分解デバイ・シェラー・リングを観測することは不可能である。更に平成16年度には「トップ・アップ運転」を実現し、軌道電子の減少を頻繁な入射で補って軌道上に常時100 mAの電流を維持し、安定性を損なわずに明るさを大幅に増すことに成功した。

田中氏はこのようなSPring-8の光源の建設と性能向上に活躍した加速器チームの当初からの中心メンバーであって、利用研究の個別の成果はすべてこの基盤技術の確立に支えられている、という意味で表彰の対象となった。

## 5. 終わりに

過去2回の「ひょうごSPring-8賞」の選考を終わって感想を述べるとすれば、これまでの選考にもれた研究成果の中にはまだまだ表彰を受けて当然、という優れた成果が多数あり、選考に当たって委員会のメンバーを悩ませた。個々の成果だけでなく、分野としてもまだ漏れている領域

も多数残っていて、それに対する目配りも今後の選考に当たっての検討事項であろう。

自然科学の世界では、特にわが国では「専門家」と「非専門家」の分離や格差が大きく、またマスコミの力量が決定的に貧弱なせいもあって、いわゆる「評論」という分野が成り立ちにくいし、「評論家」という人種も殆ど居ない。この点では文学や演劇、また美術や音楽といった文化の他の領域と全く趣を異にする。しかし学問の発展には個人の自由な発想や自律的な努力に依存する部分が欠かせないにしても、学界として発展の方向を予測したり、推進したりする努力もまた不可欠である。いわゆる「評論家」というような職業が存在しなくても、自然科学者の世界でも実は評価は内在的には常に厳存しているのである。それを誰にでも見える形で公表する表彰制度というものが、学問の発展に方向を与える努力の一環として重要な役割を担っていることは疑いない。

最後にここでお断りしておきたいのは、本稿はこの記事が非専門家や行政担当者の目に触れることを意識したため、専門家の皆さんが読者の大部分である放射光学会誌の記事としては「釈迦に説法」の部分がある、ということである。表彰の意味を少しでも分かりやすく、と心がけた筆者の意図に免じてお許しをいただきたいと思う。文責が筆者にあることを最後に明記しておきたい。