

# RIビームファクトリー研究

## RI Beam Factory Project

代表研究者 矢野安重

### 1. RIビームファクトリー計画推進

研究担当者：矢野安重，久保敏幸，若杉昌徳，稲辺尚人（RIビームファクトリー計画推進室）；後藤 彰，大西純一，上垣外修一，福西暢尚，奥野広樹，坂本成彦（加速器技術開発室）；加瀬昌之，中川孝秀，田辺敏也（ビーム分配技術開発室）；池上九三男（低温技術開発室）；片山武司，渡辺環，岡村昌宏，小関 忠，熊谷桂子（ビーム物理学研）

本研究では、大強度 RI ビームの発生を目指した RI ビームファクトリー計画の、主に加速器の基本設計・技術開発を行っている。加速器（および関連装置）は、現有のリングサイクロトロン（RRC）のエネルギーを数倍増強する中間段リングサイクロトロン（IRC）および超電導リングサイクロトロン（SRC），RI ビーム生成分離装置（Big RIPS），およびその高エネルギー重イオンビームを使って作られた RI ビームを蓄積・冷却・加速・衝突させる一連の円形加速器群（MUSES）で構成される。

Big RIPS 用超電導四重極電磁石のプロトタイプを、以前製作した冷凍方式のものから再凝縮方式のものに改造した。MUSES 関係では、蓄積冷却リング（ACR），コライダーリング，電子リングそれぞれのサイズ変更に伴ってラティス構造の再設計を行い，その技術設計検討を行った。確率冷却 R&D としての電極システムの試験を HIMAC において継続しており， $^{12}\text{C}$  と  $^{28}\text{Si}$  ビーム 135 ~ 650 MeV/u の範囲で感度特性等を明らかにした。またさらに高感度な電極構造を計算により求めその試験を行うためのシミュレーターを設計中である。蓄積リングで使用する，SQUID を用いた超高感度ビーム電流モニターの試作を開始した。ACR でのビームの入出射に用いる高速キッカー電磁石は，立ち上がり速度，フラットトップでの磁場のリップルなどの要求仕様を満足することができた。大強度パルス多価イオン源と

して開発中のレーザーイオン源では，Al（1~11 価）と C（1~6 価）ビームの生成と分離を行う一方で，RFQ への直接入射法によって高効率引出しに成功した。

また，ウランビーム等の非常に重いイオンを大電流で高エネルギーまで加速する目的で RRC と IRC の中間に新たに導入する予定のリングサイクロトロン（fRC）について基本設計を行った。

### 2. RIビームファクトリー整備

研究担当者：矢野安重，久保敏幸，江本 隆，若杉昌徳，稲辺尚人，岡添 弘，徳岡治洋（RIビームファクトリー計画推進室）；後藤 彰，大西純一，上垣外修一，福西暢尚，奥野広樹，坂本成彦（加速器技術開発室）；加瀬昌之，中川孝秀，田辺敏也，伊藤祥子（ビーム分配技術開発室）；池上九三男，大竹政雄（低温技術開発室）；上簀義朋（安全管理室）

本研究では、大強度 RI ビームの発生を目指した RI ビームファクトリーの建設を行う。

中間段リングサイクロトロンは，セクター電磁石の磁場分布の精密測定を行った。超電導リングサイクロトロンは，セクター電磁石，RF 共振器，入射・取出し装置の詳細設計および製作を引き続き行った。セクター電磁石では主コイルの巻線を開始し，RF 共振器は 4 台の内 2 台を完成させた。IRC-SRC 間のビームトランスポート系の四極電磁石およびそれらの電源，また IRC から現実験施設への戻りのビームトランスポート系の偏向電磁石・四極電磁石およびそれらの電源の製作を行った。

中間段リングサイクロトロン，超電導リングサイクロトロンおよび Big RIPS を収容する加速器棟の建設を引き続き行い，地下階の部分をほぼ完成させた。

## 重イオン科学総合研究

### Heavy Ion Science

#### 1. 超重元素および新不安定同位元素の研究

代表研究者 矢野安重（加速器基盤研究部）

##### (1) 超重元素および新不安定同位元素の研究

研究担当者：森本幸司，須田利美，井手口栄治，吉田 敦，谷畑勇夫，Korcheninnikov A.，Kanungo R. <sup>\*1</sup>，山口貴之 <sup>\*2</sup>，竹内 聡 <sup>\*3</sup>（RIビーム科学研）；森田浩介，加瀬昌之，趙 宇亮 <sup>\*1</sup>，加治大哉 <sup>\*3</sup>，工藤久昭 <sup>\*1</sup>（ビーム分配技術開発室）；米田 晃 <sup>\*4</sup>（RIビームファクトリー計画推進室）

リニアックの大照射室に移設された気体充填型反跳分離器

（GARIS）の調整と，これを用いた超重元素探索実験のための予備実験を行った。高いエネルギーと大強度のビームを使うためのリニアック加速器施設の施設検査は 2002 年 1 月に終了した。リニアックから取り出された大強度（1 particle- $\mu\text{A}$ ）の  $^{40}\text{Ar}$  ビームで  $^{169}\text{Tm}$ ， $^{208}\text{Pb}$  等の標的を照射し，融合反応で生成される  $^{204}\text{Fr}$ （ $Z = 87$ ）， $^{245}\text{Fm}$ （ $Z = 100$ ）等の収率を測定した。得られた結果から，原子番号 87 および 100 の元素の核融合生成物のヘリウムガス中での平衡電荷と GARIS の効率とが導かれた。この結果から GARIS を

使った新元素の発見は十分可能であると判断された。来年度は100より大きな原子番号のものへのヘリウムガス中での平衡電荷の測定と新元素発見を目的とした実験を開始する予定である。

<sup>\*1</sup> 共同研究員, <sup>\*2</sup> 基礎科学特別研究員, <sup>\*3</sup> ジュニア・リサーチ・アソシエイト, <sup>\*4</sup> バイオクロストーク研究協力員

## (2) マルチトレーサー法の開発と応用

研究担当者: 矢野安重 (加速器基盤研究部); 谷田貝文夫, 榎本秀一, 蛭沼利江子<sup>\*1</sup>, 柳谷隆宏<sup>\*2</sup>, 楊永峰<sup>\*3</sup>, Ding W.<sup>\*3</sup>, Pan Q.<sup>\*3</sup>, 天野良平<sup>\*3</sup>, 薬袋佳孝<sup>\*3</sup>, 遠藤和豊<sup>\*3</sup>, 鈴木弘行<sup>\*3</sup>, 高橋嘉夫<sup>\*3</sup>, 姫野誠一郎<sup>\*3</sup>, 矢永誠人<sup>\*3</sup>, 高橋正昭<sup>\*3</sup>, 南武志<sup>\*3</sup>, 篠原厚<sup>\*3</sup>, 横山明彦<sup>\*3</sup>, 柴田貞夫<sup>\*3</sup>, 鈴木和夫<sup>\*3</sup>, 桜井弘<sup>\*3</sup>, 小椋康光<sup>\*3</sup>, 松本謙一郎<sup>\*3</sup>, 内田滋夫<sup>\*3</sup>, 田上恵子<sup>\*3</sup>, 安井裕之<sup>\*3</sup>, 川辺賢司<sup>\*3</sup>, 武田厚司<sup>\*3</sup>, 山崎峰夫<sup>\*3</sup>, 中西由季子<sup>\*3</sup>, 稲毛寛子<sup>\*3</sup>, 鍋倉智裕<sup>\*3</sup>, 中西友子<sup>\*3</sup>, 玉野春南<sup>\*3</sup>, 岡本洋一<sup>\*3</sup>, 羽場宏光<sup>\*3</sup>, 永目諭一郎<sup>\*3</sup>, NGUYEN V. C.<sup>\*3</sup>, 池田尚子<sup>\*3</sup>, 末木啓介<sup>\*3</sup>, 柴田誠一<sup>\*3</sup>, 高宮幸一<sup>\*3</sup>, 梅谷重夫<sup>\*3</sup>, 小松優<sup>\*3</sup>, 山田裕久<sup>\*3</sup>, 大山拓也<sup>\*4</sup>, 古川純<sup>\*5</sup>, 五十嵐香織<sup>\*5</sup>, 畚野純<sup>\*5</sup>, 中山明弘<sup>\*5</sup>, 吉田昭三<sup>\*5</sup>, 辻孝枝<sup>\*5</sup>, 金山洋介<sup>\*5</sup>, 藪下裕子<sup>\*5</sup>, 前津仁美<sup>\*5</sup>, 川本有美<sup>\*5</sup>, 小木貴憲<sup>\*5</sup>, 小池真理子<sup>\*5</sup>, 大城太一<sup>\*5</sup>, TATHI T. M.<sup>\*5</sup>, 平澤雅彦<sup>\*6</sup> (ラジオアイソトープ技術室); 本村信治<sup>\*5</sup>, 郷農靖之<sup>\*7</sup> (放射線研); 旭耕一郎, 中原弘道<sup>\*3</sup> (応用原子核物理研); 山口勇, 曾雌隆行<sup>\*1</sup> (微生物制御研)

マルチトレーサーを用いた応用研究としては本年度の研究も、生物学、医学領域の利用が多い。代表的な成果を上げると、胎生および幼若マウス脳内における各種微量元素の分布と脳内各部位の代謝過程を検討した。また、マルチトレーサーを投与した動物の各種微量元素のダイナミクスを非侵襲的に測定する手法を確立した。すなわち、Ge半導体検出器上に鉛スリットを用いたコリメータを設置する手法で、肝臓内の元素のダイナミクス測定に成功した。その他の研究成果は、1型糖尿病モデルラットにおけるインスリン様パナジウムイオンの影響、部分肝切除ラットにおける金属元素代謝、妊娠ラットにおける各種金属元素の腸管吸収、神経シナプスにおける元素の動態とその作用、鉄欠乏性貧血患者の栄養改善手段としての鉄錯化合物の吸収過程、白内障モデル動物における水晶体への各種元素の蓄積性、花崗岩間隙水への各種元素の拡散、金属内包フラーレンの化学的性質などの応用研究を行った。

<sup>\*1</sup> 協力研究員, <sup>\*2</sup> 基礎科学特別研究員, <sup>\*3</sup> 共同研究員, <sup>\*4</sup> ジュニア・リサーチ・アソシエイト, <sup>\*5</sup> 研修生, <sup>\*6</sup> 業務嘱託, <sup>\*7</sup> 客員主管研究員

## (3) インビーム・メスバウアー分光による物質科学研究

研究担当者: 旭耕一郎, 小林義男, 上野秀樹, 佐藤涉<sup>\*1</sup>, 岡田卓也<sup>\*2</sup>, 久保謙哉<sup>\*2</sup>, 山田康洋<sup>\*2</sup>, 栄長泰明<sup>\*2</sup>, 小川博嗣<sup>\*2</sup>, 勝又啓一<sup>\*3</sup>, 宮崎淳<sup>\*3</sup>, 齋藤崇<sup>\*3</sup> (応用原子核物理研); 八木栄一<sup>\*2</sup>, 浅井吉蔵<sup>\*2</sup> (ミュオン科学研); 吉田敦 (RIビーム科学研); 渡邊康 (放射線研);

石原正泰 (RIビームファクトリー計画推進室); 加瀬昌之 (ビーム分配技術開発室); 後藤彰 (加速器技術開発室); 矢野安重 (加速器基盤研究部); 吉田豊<sup>\*2</sup> (原子物理研)

加速器施設における短寿命不安定核ビームを利用したインビーム・メスバウアー実験を進展した。RIPSで生成・分離した短寿命不安定核<sup>57</sup>Mn (半減期1.45分)を過マンガン酸カリウムKMnO<sub>4</sub>に直接イオン注入後、オンラインでメスバウアースペクトルの温度変化を測定した。KMnO<sub>4</sub>中で<sup>57</sup>Mnのβ<sup>-</sup>壊変により生成した<sup>57</sup>Feの電子状態は、異なる2種類の状態にあることが明らかになった。そのうち1つの化学種は、通常の固体中では存在しない高い原子価状態にあることが示された。実験結果および分子軌道計算 (Gaussian98, DV-Xα法)から、この鉄原子の酸化状態と化学種は、Fe(VIII)からなる[FeO<sub>4</sub>]であると同定できた。

<sup>\*1</sup> 基礎科学特別研究員, <sup>\*2</sup> 共同研究員, <sup>\*3</sup> 研修生 (東理大大学院)

## 2. 不安定核ビームを用いた核科学

代表研究者 谷畑勇夫 (RIビーム科学研)

研究担当者: 谷畑勇夫, Korshennikov A. A, 吉田光一, 小沢顕, 須田利美, 森本幸司, 松尾由香里, 西村俊二, 井手口栄治, 小濱洋央, 池田清美<sup>\*1</sup>, 望月優子<sup>\*1</sup>, 日下健祐<sup>\*1</sup>, 石田佳久<sup>\*1</sup>, 福山祥光<sup>\*2</sup>, Kanungo R.<sup>\*3</sup>, 大西哲哉<sup>\*3</sup>, 山口貴之<sup>\*2</sup>, 西勇二<sup>\*2</sup>, 涌井崇志<sup>\*2</sup>, 西村美月<sup>\*2</sup>, 飯田圭<sup>\*2</sup>, 清水則孝<sup>\*2</sup>, 小浦寛之<sup>\*4</sup>, Nikolskii E.<sup>\*4</sup>, 鈴木健<sup>\*4</sup>, Famiano M.<sup>\*4</sup>, Zheng T.<sup>\*5</sup>, 杉本聡<sup>\*5</sup>, 山田一成<sup>\*5</sup>, 千葉将充<sup>\*5</sup>, 実藤竜二<sup>\*6</sup>, 茂木孝史<sup>\*6</sup>, 熊谷秀和<sup>\*7</sup> (RIビーム科学研)

高いエネルギーの重イオンを用いて不安定核を作り、これをさらにRIビームとして、それを用いた反応により、短寿命核の研究をする方法を開発し、その利用を進めている。これにより中性子ハローや、中性子スキン、<sup>10</sup>He、新しいマジックナンバー  $N = 16$  などを発見してきた。

本年度は、ドブナ研究所との共同研究から<sup>5</sup>H (最も重い水素のアイソトープ)を発見した。<sup>10</sup>Heにつづき、これまでに知られているうちで最もA/Z比の大きな原子核である。 $N = 16$ のマジックナンバーに引き続き、 $Z = 16$ および $N = 6, 32$ が中性子過剰核でのみ発現するマジックナンバーであることが分かった。 $N = 16$ のマジックナンバーに関連して、<sup>23</sup>Oの破砕反応の実験を行い、運動量分布を解析した結果、中性子の軌道(1d<sub>5/2</sub>と2s<sub>1/2</sub>)が入れ替わっていることが分かった。これが原因で16のマジックナンバーが作られていると結論できる。

NaI(Tl)をエネルギー検出器とし、超高速のTOF測定と組み合わせる新しい反応断面積の測定法を開発した。この方法を用いて<sup>14</sup>, <sup>15</sup>, <sup>16</sup>Oを炭素に衝突させたときの反応断面積を測定した。<sup>16</sup>Oの解析が終了し、この原子核には中性子ハローがあることが示された。その他の原子核については現在解析中である。

理論グループでは、陽子弾性散乱と密度分布の関係を詳しく調べ、弾性散乱により表面より少し内側の密度が精度良く決められることを示した。また、陽子数と中性子数の比が1から大きくずれている核物質の状態方程式と原子核の密度分布についての研究を行い、RIビームによる実験が

ら非対称核物質の状態方程式が決定できることを示した。また、あからさまにパイオンの場を入れた相対論的平均場モデルを開発しつつある。

\*<sup>1</sup> 研究協力員, \*<sup>2</sup> 基礎科学特別研究員, \*<sup>3</sup> 協力研究員, \*<sup>4</sup> 共同研究員, \*<sup>5</sup> ジュニア・リサーチ・アソシエイト, \*<sup>6</sup> 研修生, \*<sup>7</sup> 研究嘱託

### 3. 高エネルギー高電離重イオンによる原子物理の研究

#### (1) 動的および恒久的な重イオン照射効果

研究担当者: 神原 正, 蔭山健介 \*<sup>1</sup>, 金井保之, 小島隆夫, 中井陽一, 岩瀬彰宏 \*<sup>1</sup>, 石川法人 \*<sup>1</sup>, 知見康弘 \*<sup>1</sup>, 小野文久 \*<sup>1</sup>, 池田時浩, 山崎泰規 (原子物理研)

高速重イオンによる動的照射効果を観測するために, 前年度に引き続いて重イオン照射による超音波領域の弾性波の発生を観測した。阻止能の大きなイオンで試料の種類による違いを見るために, 3.6 GeV の Xe イオンを時間幅 3 ナノ秒以下のパルスにしてアルミニウム・塩化カリウムの単結晶 (照射面が {111} と {100}), 熔融シリカ, インパー合金固体試料に照射し, 試料に取り付けた圧電素子で弾性波を観測した。その結果, 3.8 GeV の Ar イオンと同様に, 熱膨張率の小さな熔融シリカとインパーでは弾性波が発生しないことが見いだされた。これは弾性波が熱的な過程で発生することを意味する。また塩化カリウムでは試料背面で観測される弾性波の振幅が結晶面の向きによって大きく異なり, {100} 面に照射した場合は {111} 面に比べて大きいことが見いだされた。

銅が鉄に過飽和状態で固溶した 2 種類の合金 (銅が 0.6 重量%および 1.2 重量%) を摂氏 250 度で 3.5 GeV の Xe イオンで照射, あるいは室温で 3.8 GeV の Ta イオンで照射した後, マイクロヴィッカーズ硬度計を用いて照射による硬さ変化を測定した。その結果, 250 度で Xe イオン照射した 1.2 重量%銅合金では, 著しい硬さの増加が見られたが, この現象は銅濃度の低い試料や, 室温照射した試料では見られなかった。また, 電子線照射で同様の実験を行ったが, この場合もそのような現象は観測されない。以上の実験結果から, 高温で GeV イオン照射した高濃度銅合金で観測された硬さの異常な増加は, GeV イオン特有の固体内高密度電子励起により生成された格子欠陥の熱拡散が銅原子とカップリングした結果, 銅原子の析出が起こり, この析出物が転位運動の障害として作用した結果であると考えている。

#### (2) 高周波イオンガイドによる高速イオンの減速捕集法の開発

研究担当者: 和田道治, 中村貴志 \*<sup>2</sup>, 片山一郎 \*<sup>1</sup>, 岡田邦宏 \*<sup>1</sup>, 中井陽一, 小島隆夫, 金井保之, 大山 等, 神原正, 大谷俊介 \*<sup>1</sup>, 山崎泰規 (原子物理研); 久保敏幸 (RI ビームファクトリー計画推進室); 石田佳久 \*<sup>2</sup>, 吉田 敦, 松尾由賀利, 福山祥光 (RI ビーム科学研)

高エネルギー重イオンビームと破砕核反応分離器によって得られる不安定核ビームは高エネルギー, 汎元素, 汎寿命という優れた特徴を持つ。一方イオントラップ実験などにはエネルギーの低い高品質な不安定核ビームが必要である。両者を結合する有力な手段として, 高周波イオンガイド法の開発研究を行っている。高速イオンは, 前置減速フォ

イルで減速後, 大きなヘリウムガスセル中で停止される。その熱化イオンは, 高周波電場により収束されセル出口へ高速・高効率で導かれる。小型モデルによるオフライン試験により, 高周波の効果が確認できた。さらに理研加速器施設の破砕核反応分離器 (RIPS) において, Li-8 ビームを用いたオンライン試験を開始した。(放射線医学総合研究所の野田氏, 高エネルギー加速器研究機構の川上氏との共同研究)

#### (3) イオントラップを用いたレーザー核分光

研究担当者: 和田道治, 岡田邦宏 \*<sup>1</sup>, 中村貴志 \*<sup>2</sup>, 片山一郎 \*<sup>1</sup>, 大谷俊介 \*<sup>1</sup>, 山崎泰規 (原子物理研)

イオントラップに捕捉されたイオンの基底準位の超微細構造の精密分光から, 原子核の磁化分布の同位体効果 (Bohr-Weisskopf 効果) を導き出す研究を進めている。特にベリリウム同位体の測定から中性子八口核 <sup>11</sup>Be の価中性子の径が広がっている効果を直接測定することを目指している。そのための測定技術開発の結果, 安定同位体 <sup>9</sup>Be の超微細構造定数, 核磁気モーメントをそれぞれ  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$  の高精度で決定することができるようになった。また, 外部から入射されたイオンの高効率蓄積に不可欠なバッファガス冷却が Be イオンにおいてもクライオジェニックトラップを用いることで可能なことが示された。

#### (4) 擬似光子共鳴励起現象を用いた多価イオンの精密分光

研究担当者: 池田時浩, 神原 正, 金井俊之, 中井陽一, 東 俊行 \*<sup>1</sup>, 小牧研一郎 \*<sup>1</sup>, 高林雄一 \*<sup>3</sup>, 山崎泰規 (原子物理研); 福西暢尚 (加速器技術開発室)

結晶の軸や面に沿った電子密度の小さい空間 (チャネル) を通過する (チャネリングする) イオンは, 結晶の周期的なポテンシャルのもとで運動する。すなわち, イオンは周波数に対応する疑似光子の場に曝されているので, この疑似光子エネルギーがイオンの励起エネルギーに一致すると, イオンは共鳴的に励起されることになる。疑似光子のエネルギーはイオンビームと結晶との相対角度を変えることで連続的に変えることができるため, 結晶のビームに対する角度を高精度に制御することで, イオンの共鳴エネルギーを高精度で決定できることになる。この原理を用い, 多価重イオンの新しい超高分解能分光法を確立したいと考えている。これにより, 例えば, 中重元素のラムシフトを, 従来より 1 桁以上高い精度で決定することができるようになる。さらに, 超微細構造分裂の精密決定など原子物理と原子核物理の境界領域研究にも強力な手段を与えると期待される。本年度は, E2b ビームラインに, 新たに開発した 1 マイクロラジアン分解能を持つゴニオメータを設置し, 95 MeV/uAr<sup>17+</sup> イオンによる共鳴励起現象を観測することに成功した。来年度は, x 線の着物を着た状態 (x-ray dressed state) の観測と, 実際の高分解能測定を実施する予定である。

#### (5) イオン励起 X 線分光 (PIXE) 分析

研究担当者: 前田邦子, 長谷川賢一 (ラジオアイソトープ技術室); 吉識 肇 (安全管理室)

真空外で, 微量試料や局所部分の化学結合状態を非破壊的に分析できる波長分散式の PIXE 法を開発している。本年度は von Hamos 型湾曲結晶と位置敏感比例計数管を組み合わせた高分解能 PIXE システムを完成した。X 線検出効率とピーク/バックグラウンド比が大幅に改良され, K $\alpha$  (主線) だけでなく K $\beta$  (K $\alpha$  の数%の強度) スペクトルの

迅速測定（数十秒–数分）が可能となった。火山灰など硫黄含有試料中の硫黄の化学状態分析に応用した。また、半導体検出器を用いたエネルギー分散式 PIXE 分光による多元素同時微量分析を、いろいろな分野の試料を対象として継続的に行っているが、本年度は、土器、エアロゾル、羽毛、火山灰を分析した。

\*<sup>1</sup> 共同研究員，\*<sup>2</sup> 協力研究員，\*<sup>3</sup> 研修生

#### 4. 重イオンによる生物効果の研究

代表研究者 花岡文雄（細胞生理学研）

研究担当者：谷田貝文夫，水野 武，金井達明\*<sup>1</sup>，安藤興一\*<sup>1</sup>，古澤佳也\*<sup>1</sup>，笠井清美\*<sup>1</sup>，伊東久夫\*<sup>1</sup>，山下昌次\*<sup>1</sup>，渡邊正己\*<sup>1</sup>（細胞生理学研）；吉田茂男，阿部知子（植物機能研）；前澤 博\*<sup>1</sup>，WU H.\*<sup>1</sup>，森本茂子\*<sup>2</sup>，後藤佐智子\*<sup>3</sup>（ラジオアイソトープ技術室）；矢野安重，加瀬昌之，福西暢夫（加速器基盤研究部）

加速重イオン粒子の生物作用を明らかにすることを目的に，DNA 損傷とその修復，突然変異誘発，染色体異常，組織レベルでの障害などに関して一連の基礎的研究を進めるとともに，宇宙放射線影響のモデル実験，有用な植物変異株の分離，さらには重イオンによるがん治療のための基礎

的知見の集積などの応用的研究も同時に行っている。ここでは，紙面の都合上，ヒトリンパ芽球様細胞を利用して明らかにした「重イオンに特有と考えられる」生物効果について述べる。

染色体 17 番上のチミジンキナーゼ（TK）遺伝子座のヘテロ接合性の喪失（LOH）の誘発を調べたところ，加速炭素イオンをわずか 10cGy 照射しただけで，特定の欠失型 LOH が同線量の X 線照射に比べておよそ 4 倍も高感度に検出された。この結果から DNA 二重鎖切断がこの種の遺伝的影響の原因となっていることが示唆される。また，これらの特定型 LOH の詳細解析から，重イオン照射の方が X 線照射に比べて，欠失がより広範囲におよぶ LOH を高頻度起こすことも明らかになった。さらに，DNA 二重鎖切断に伴って起こるヒストン H2AX のリン酸化を細胞染色で調べてみた。その結果，加速鉄イオンの照射によって生じた DNA 二重鎖切断は，X 線照射によるものと比べて，その分布が局在化するだけでなく，修復がより困難になることが明らかになった。高 LET 放射線によるクラスター損傷の生成が強く示唆される。

\*<sup>1</sup> 共同研究員，\*<sup>2</sup> 技術研究生，\*<sup>3</sup> ジュニア・リサーチ・アソシエイト

## バイオクロストーク機能研究

### Study on Biological Crosstalk Functions

代表研究者 矢野 安重

#### 1. RI ビーム打ち込み制御技術開発

研究担当者：西村俊二，西 勇二，Famino M.，谷畑勇夫（RI ビーム科学研），矢野安重（加速器基盤研究部）

RI ビーム打ち込み制御に関する技術開発の一環として，RI の崩壊時に放出される  $\beta$  線の放出点と時間を測定し得る検出器を開発した。ここでは 300mm × 1mm × 1mm のシンチレーションファイバーを 64 本束ねたシンチレーションファイバーアレイと 16 チャンネル位置検出用光電子増倍管を組み合わせた  $\beta$  線検出器を 20 セット製作した。この  $\beta$  線検出器を 2 枚重ね合わせることで  $\beta$  線の放出点を (x, y) の二次元イメージで正確に捉えることが可能になった。 $\beta$  線と 3mm $\phi$  のコリメータを使用して位置分解能を測定した結果， $\sigma \sim 3$ mm の分解能を持つことが確認された。この検出器は  $\beta$  線の測定の他に様々な荷電粒子の通過位置を高精度で決定することにも利用できる。また，この  $\beta$  線検出器とその後ろに NaI を組み合わせることにより， $\beta$  線と  $\gamma$  線の同時計測が可能となった。この検出器は不安定核の半減期を精度良く測定するのに用いることができる。（オハイオ州立大 Richard Boyd 教授との共同研究）

#### 2. 植物バイオクロストーク研究

研究担当者：吉田茂男，阿部知子，松山知樹，藤原 誠（植物機能研）

栽培タバコの受精胚細胞やイネ・大麦の種子に重イオンビームを照射し得られた系統の M2 世代にバイオクロストーク機能解明に適した変異株である葉緑体欠損株（アルビノ株・斑入り株）などが分離する系統が出現した。本年度はこれらのアルビノ変異株を用いて核-葉緑体間のまた斑入り変異株を用いて組織間のクロストーク研究を行った。タバコとイネのアルビノ変異株 M3 世代において変異遺伝子の解析を RLGS（Restriction Landmark Genomic Scanning）法で試みたところ，M2 世代と同様な数個の多型スポットが確認された。また，重イオン変異機構のモデル植物には全ゲノム塩基配列が決定しているシロイヌナズナが適しているため「バーチャル RLGS システム」の機能の充実に計った。すなわち，頻繁にランドマーク制限酵素として用いられる NotI サイトのプロファイリングを行い，DNA の欠失・転座などの遺伝的変異検出と共に DNA メチル化による後生的変異検出にも利用できるプロファイル・マップの作成を行った。