

# RIKEN ニュース

理化学研究所

## 高出力可変波長固体レーザーの開発

新しい高出力波長可変固体レーザーを開発し、紫外光から赤外領域まで全ての波長で連続可変波長化する事も夢ではなくなって来た。

最近、光通信、コンパクトディスク(CD)などに半導体レーザーが使用され始め、レーザーも我々の生活に身近かなものとなって来た。現在実用化されているレーザーには多くの種類があるが、例えばその形状で大別してみると以下のようになる。

- ① 固体レーザー (YAG、ルビー、ガラス等)  
パルス発振、ピーク出力が大きい。
- ② ガスレーザー (Ar、He-Ne、CO<sub>2</sub>等)  
連続発振、平均出力が大きい。
- ③ 半導体レーザー (GaAs、GaAlAs、GaInAsP、等)  
小型、低出力、効率が高い。
- ④ 色素レーザー  
他のレーザーによる励起、レーザー発振の波長が変えられる。

また、現在のレーザー装置開発の方向は、エネルギー密度を上げるための高出力化、小型化、X線領域などの発振波長領域の拡大、あるいは、波

長可変化が主な流れとなっている。ところが、上にあげたレーザーは④の色素レーザーを除いて全てレーザー発振波長が定まっており、希望する波長を選択しようとする非線形結晶による高調波光の発生、あるいはパラメトリック発振、ラマンシフト等の手段を使わなくてはならない。可変波長性を得る研究の一つの流れは、高い効率を持つ非線形結晶の開発と実用化であるが、ここで紹介するのは、ピーク出力が大きいという特徴を持つ固体レーザーに、直接、波長可変性能を持たせようという試みである。この研究は、紫外光領域で高出力の可変波長光を得る事を最終的な目標としている。従来、紫外可変波長光は色素レーザーを出発点としており、分光測定等は可能であるが、化学反応を誘起しようとする、生成物を分析するにはエネルギーが不足していた。そこで、より簡単かつ高出力紫外光を得るため、可視・赤外領域でのレーザー発振をまず実現した。



マイクロ波領域ではなく、可視光の領域で最初の誘導放出（レーザー発振）が見出されたのはルビーレーザーである。ルビーは赤い宝石の名前であり、クロムを不純物として含有した酸化アルミニウム結晶である。ちなみに不純物として鉄を含んだ酸化アルミニウムの宝石名は、サファイヤで青色をしている。ルビーレーザーの発明以後、多くの物質でレーザー発振が実現されたが、固体レーザーで最初に可変波長性が見出されたのはアレキサンドライトである。アレキサンドライトは、酸化アルミニウムと酸化ベリリウムが1対1に混合した結晶（クリソベリル）に不純物としてクロムが含まれた宝石であり、19世紀にシベリアで最初に発見され、当時のロシア皇帝の名を取って名付けられた宝石である。不純物としてクロムの他に酸化チタンが含まれ、針状に折出するとキャッツアイと呼ばれ、宝石としてはさらに高価になる。このアレキサンドライトが700nmから、800nmの赤色領域で可変波長レーザー発振を示す事が1978年に見出され、実用化された。その後、クロムを不純物とする結晶が、ガーネット（ざくろ石）を中心としていろいろ研究されたが、いずれもアレキサンドライトと似かよった性能しか示さなかった。しかし、1982年に酸化アルミにチタンを不純物として入れた結晶（チタンサファイヤ）が、700nmから900nmの波長領域でレーザー発振する事が見出され、アレキサンドライトの2倍の発振領域が注目されると共に、再び新しい固体レーザー開発が活気を呈してきた。

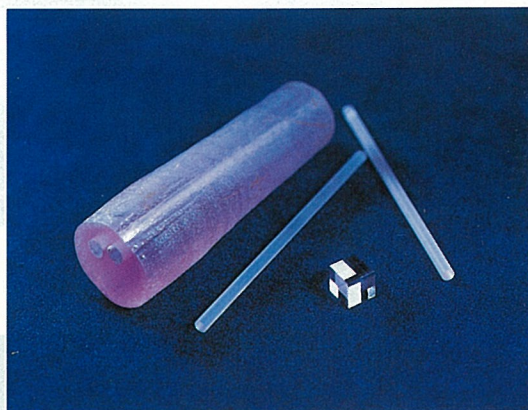


写真1 回転引き上げ法により育成したクリソベリル結晶と、それより切り出した各種試料

レーザー科学研究グループでは、三井金属鉱業(株)と共同で1984年より新しい可変波長固体レーザーの研究を開始し、2種の新しい結晶でレーザー発振を確認して来た。これらはチタンを不純物としたクリソベリルと、クロムを不純物としたフォルステライト（カンラン石）であり、各々750nmから950nm及び1.15 $\mu$ mから1.3 $\mu$ mの波長領域でレーザー励起下でのレーザー発振を確認している。写真1に示すのは、回転引き上げ法により製作したクリソベリル結晶と、レーザー発振および光学的評価のために切り出し研磨された種々の試料である。

我々の一つの目標は、紫外光領域での実用的な波長可変レーザーの開発であった。これを従来の方法で達成しようとするると図1(上)に示すような

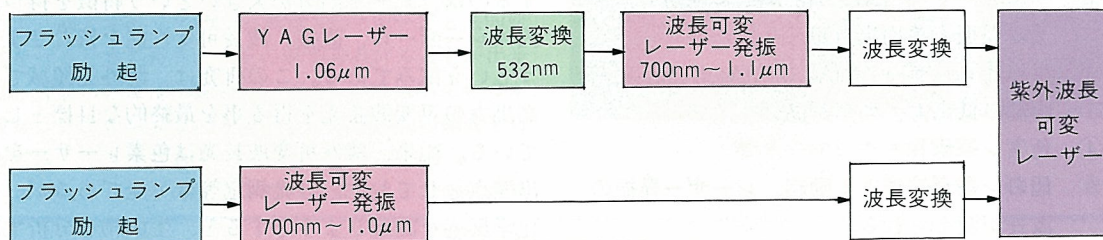


図1 紫外波長可変レーザーを得るためのブロック図、(上)が従来の方法、(下)が今回開発したより実用的な方法



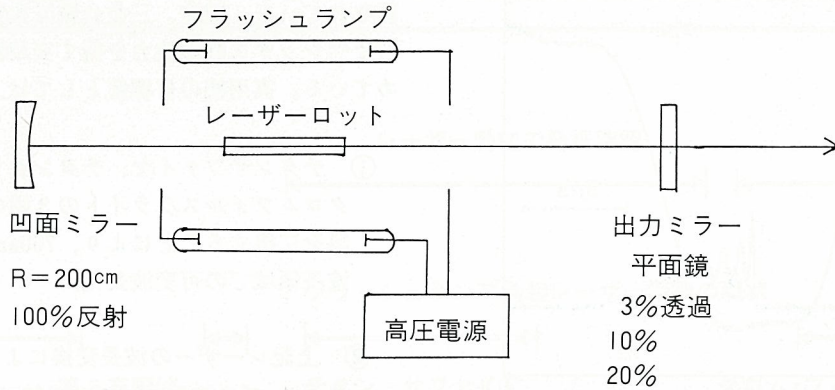


図2 フラッシュランプ励起高出力レーザー装置のブロック図

段階を経る必要があり、高いエネルギー変換効率は望めないで小さな出力しか得られない。そこで先にレーザー発振を確認しているこれらの材料をフラッシュランプにより直接励起して、高出力のレーザー発振を得る事を試みた。これが成功すると図1(下)の過程で紫外光が得られるため、非線形効果を利用する波長変換が1回で済み、全体としてのエネルギー変換効果は大幅に向上して大出力が得られると考えられる。

これらの新たに開発したレーザー材料は、いずれも発光寿命が3~10マイクロ秒で表1に示すように固体レーザー材料としては発光寿命が非常に短い。このため、フラッシュランプ及びその放電回路を短パルス放電用に改良し、コンデンサーも特殊なものを使用した。この結果、フラッシュランプ励起による高出力可変波長レーザー発振を世

界で初めて達成することができた。

図2に装置のブロック図を示す。2個のフラッシュランプは直列に接続され、7 $\mu$ F、9kV 充電のコンデンサーより、約300ジュールの電気エネルギーで放電する。この光で励起されたレーザー材料が、共振器内でレーザー発振をする。レーザー発振波長は、プリズム、回析格子等で任意に選択する事ができる。図3にフラッシュランプの放電波形とレーザーの発振時間波形を示す。レーザー発振のパルス幅は約100ナノ秒であり、その本数は発振条件によって異なる。

図4に、現在このフラッシュランプ励起で得られている波長領域、及び20Wアルゴンレーザー等で強励起した時、レーザー発振が確認されている波長を示す。レーザーによる強励起下では、650nmから1.3 $\mu$ mまでの波長領域でレーザー発振が確

	材 料	レーザー波長	発 光 寿 命
従来のレーザー材料	ルビー	694nm	3 m秒
	Y A G	1.06 $\mu$ m	200 $\mu$ 秒
	アレキサンドライト	700nm~800nm	200 $\mu$ 秒
新しいレーザー材料	チタンサファイヤ	700nm~1.1 $\mu$ m	3 $\mu$ 秒
	チタンクリソベリル*	700nm~1.1 $\mu$ m	5 $\mu$ 秒
	クロムフォルステライト*	1.2 $\mu$ m~1.3 $\mu$ m	10 $\mu$ 秒

表1 従来のレーザー材料及び最近開発されたレーザー材料の特性。\*は今回の研究で新たに開発された材料

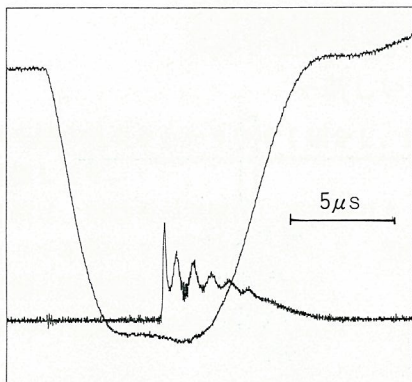


図3 フラッシュランプの電流波形(上)とレーザー発振波形(下)

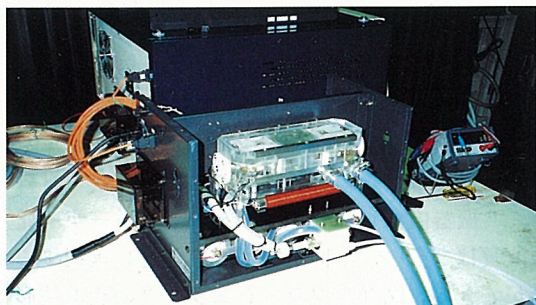


写真2 実用化第1号機  
前部はフラッシュランプとレーザーロッドの水冷部、下部にコンデンサ、後部は高圧電源

認されている。現在、三井金属鉱業(株)、東ソー(株)、株オペレックス等の協力を得て実用機の開発を進めている。実用機の目標値としては、

- ① チタンサファイヤ、チタンクリソベリル、クロムフォルスラライトの3種のレーザー材料を交換することにより、700nm~1.3μmの波長領域での可変波長化。
- ② 上記レーザーの波長変換により、350nm~1.3μmでの波長領域での連続可変波長化。
- ③ 繰り返し10pps、赤外領域で100mJ/ショット、平均出力1W。紫外領域で10mJ/ショット、平均出力100mW。
- ④ フラッシュランプ寿命 $10^8$ ショット以上を考えている。

写真2に実用化第1号機を示す。上に置かれているのは2本のフラッシュランプとレーザーロッドを組み込んだ部分で、水冷されている。短パルス放電のため、コンデンサーはフラッシュランプの直下に置いてある。

## 理研の主な公開特許

### PH02-165007 光学的回転角検出方法

光工学研究室 山口 一郎

[概要]円筒面にレーザー光を照射し、生じた反射光中のスペckル模様の変位量を所定の数式に基づき光電検出器により検出して、被測定物に非接触で容易に回転角を測定することを可能とした。

### PH02-168541 電子ビーム励起イオン源

レーザー科学研究グループ 原 民夫他3名

[概要]電子ビームによってイオンを生成しそのイオンを引き出して放射する低エネルギー大電流のビーム励起イオン源を開発した。これにより小型の装置で大電流単原子イオンを長時間安定して発生させることが可能となった。



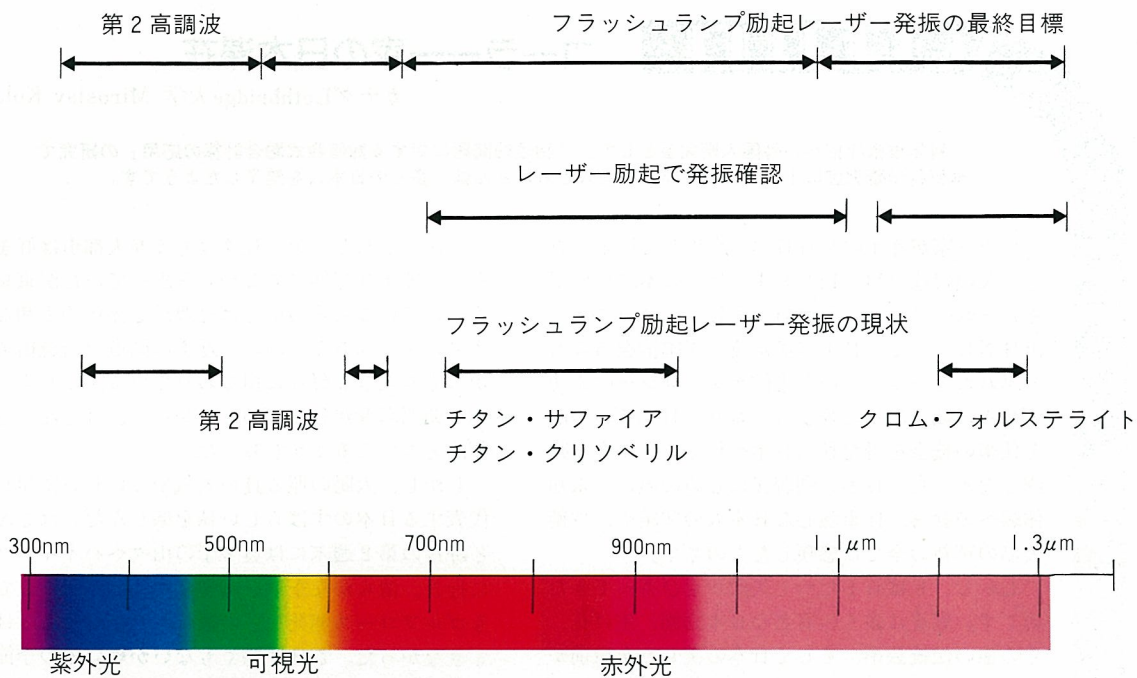


図4 現在の発振波長及び将来期待される発振波長領域

上に示した実用機の目標値を達成するためには、今後さらに高品質レーザー材料育成法の開発、短

パルス放電装置の高効率化、長寿命化、等の技術開発が必要であり、関心がある方々の研究協力が得られれば幸いである。



実験室の筆者

今回の成果は、わが国で初めて、新しい固体レーザー材料を開発し、その実用化に成功したものである。従来、固体レーザー用結晶の基礎研究は、ほとんど米国や欧州で行われており、その結果、組成特許（例えばYAG、アレキサンドライト）が外国に保有され、国内での応用開発にブレーキがかかる弊害が大きかった。そういった観点から、今回、新しい有望な波長可変固体レーザー用結晶をわが国で結晶デザインから実用化まで一貫して開発した意義は大きい。また今回の成功が、国内における新レーザー材料開発に刺激を与えるものと期待される。

レーザー科学研究グループ

副主任研究員 瀬川 勇三郎

## コーラー一家の日本滞在

カナダLethbridge大学 Miroslav Kolar

科学技術庁招へい外国人研究者として、「物理的問題に対する数値数式融合計算の応用」の研究で情報科学研究室に1年間の滞在予定。夫人とお嬢さんは、多くの日本人を魅了したようです。

私達一家が昨年の9月日本に到着して以来、妻と3人の娘達(14、12、8才)は、日本についてそれぞれの“おもい”があると思う。ヨーロッパ出身者にとって、日本は遙か遠い異国情趣ある所と思われている。その上現代テクノロジーの成功で日本の魅力は特に強まっており、日本での生活と仕事の機会を得た私は日本へ行くことに全く躊躇しなかった。日本に到着後はじめの頃は、未知体験への歓喜、仕事熱心な日本人の業績や、技術製品の革新の全てに感嘆したものです。

しかし、しばらくたつと失望が忍び寄ってきたのです。私達は多くの有名な日本庭園、生け花、その他の伝統芸術、そして日本の美しさを以前から聞き及んでいた。それゆえに、現代テクノロジーの集積国ともいえる日本では、新しい建造物や産業設備が他の国々に比べて、ずっと良い形で環境になじんで設計されている。人間と自然との調和を第一とする古い仏教的思想が根底にあると思っていた。庭園や生け花は申し分なくその名に値するものであったが、特に失望したことは、全体としてみた東京が調和のとれた広い庭園とはかけ離れた存在であることだ。人口の集中が原因とは判っているものの、他の大都市よりも東京の方が、現代テクノロジーによる環境の悪い効果を現しているようである。未だ多くの庭園をもつ寺院や神社には平和と憩いの場はあるものの、歩行者や自転車にとって不快で危険なトラックなどが、騒々しく悪臭をはなちながら我がもの顔で走っている。さらに驚くことには、人々がさして公害を気に留めていないように見えることだ。身近な例では、ほとんどの運転手が車を2、3分以上止める時にエンジンのスイッチを切らず、30分以上エンジンをかけたまま駐車しているのが見受けられる。

もし、人々が東京上空の厚いスモッグ層を風のない時に、例えば奥多摩の日ノ出山から眺めたら、公害に対する無頓着な習慣を変え始めるかもしれないと思う。私がカナダという広大な国(面積27倍、人口1/4)の出身者であるから強く感じすぎ

るのかもしれないが。私達はあまり大都市は好まない。理研は郊外にあるからと思っていたが東京に続いている。その中では緑豊かで比較的平和なオアシスではあるものの、近くの国道(川越街道)からくる大きな騒音に損なわれている。これらすべての悪影響が私達にのしかかって、ほとんど絶望的ともいえるようであった。

しかし、太陽の照る良い天気やおいしい密柑が代表する日本のすばらしい秋を楽しんだ。ほとんど毎月の第2週末には奥多摩の山々へハイキングに行き、清らかな空気を満喫した。だが、ここでもゴルフコース開発などの騒音から逃れることはできなかった。さほど悪くもないが短い冬の季節が終わる頃には、小麦粉と糠で私達家族の大好物、黒パンの模造品を作る事に成功した。桜の季節がくると、東京郊外にすばらしい場所を見付けたり、出会う日本人が皆とても親切、好意的であったのが嬉しかった。

あるときは、ハイキングの途中で突然の豪雨に見舞われ木陰で立ちすくんでいる私達をみて、通りがかりの車が数Km以上もある“おごせ”駅(東武東上線)まで乗せてくれた。日本人は外人を余り受け入れないと聞いていたが、私の祖国チェコスロバキアより外人をずっと受け入れているように思う。度々の地震は別にすれば、日本滞在中ほど安全を感じた事はない様な気もする。

しかしそうはいっても、文化的背景を異にする者にとっては、異国に来て生活するのは常に易し







いというわけにはいかない。個々の文化は相互に独立して発達し、何百という小さな文化的相違があり、これに耐えねばならない。小さな例として、ほとんどのヨーロッパ諸国においては、子供達は食事中どんな音をたてても失礼になると古くから教えられている。これと対照的に、日本で麺の正しい食べ方は、麺を空中ですすってさましながら

ら食べるのだが、その度に多くの音をたてるのだ。「日本では麺を食べるとき、音をたてないのは失礼であることもある」という日本の友人の言に強い衝撃さえ受けた。私は日本流に麺を食べようと試みたが成功しなかった。子供時代に植えつけられたものから反することは、非常に難しいことだとつくづく思われる。

私の将来の世界に対する理想は、異った文化を持った人々が、その文化的な違いをお互いに認めあいながら共に働くことである。日本で最も強い印象を受けたのは日本人の慎しみ、礼儀、思いやりであり、他国の人の手本にもなる。このような“生活の知恵”により、ほとんどの西洋諸国においては必要であると考えられている物質的な豊さにそれほど恵まれなくても、充分生きていけるということを知ったことは、非常に良い勉強になったと感謝している。

## スポットニュース

### 細菌は動く（微小バイオモーター）

細菌の大きさは約 $10^{-3}$ mm、好きなものに向かったり、嫌いなものから逃げるような運動などを行っている。これは細菌の“ヒゲ”のようなベン毛をプロペラのように回転させて推進しているのであるが、ベン毛はらせん繊維部分とベン毛モーターから成っている。らせん繊維部分は長さが約 $10^{-2}$ mmで“フラジェリン”と呼ばれる1種類のタンパク質が重合して作られている。ベン毛モーターは毎分約6000回転し、その回転エネルギーは、一般的な高エネルギー化合物(ATP)の加水分解によって生じたエネルギーでなく、プロトンの電気化学ポテンシャル差によることが判ってきた。すなわち、ベン毛モーターは大きさが $3 \times 10^{-5}$ mmの、イオンの電気化学エネルギーを機械的回転エネルギーに変換する最小の回転分子機械と考えられる。

微生物学研究室（工藤）では好アルカリ性細菌C-125株を好アルカリ性菌の標準株とし

てその運動性を研究しているが、この菌がそのまわりにベン毛を持ち(写真)、 $\text{Na}^+$ イオン存在下pH10で毎秒 $3 \times 10^{-2}$ mmで動き回っていることを見出した。そしてこの菌の場合には、プロトンでなく $\text{Na}^+$ イオンをその回転エネルギーとして利用していることを明らかにしたのが面白い。現在遺伝子工学的手法を用いてこのベン毛の研究を進めているが、このような新しいタイプの微小モーターの面白い利用法が見つかってくれれば幸いである。





## 第13回科学講演会のご案内

—新しい世界をひらく基礎科学—

最先端の研究をわかりやすく紹介し、研究成果を広く普及するための科学講演会を、今年は東京で開催します。

今回は、核融合の実用化に道をつけるミュオン科学、医薬・農薬に貢献する抗生物質の世界、原子1コを制御する表面科学について、最前線の研究者が講演します。明日の科学をたずねて、多くの皆様の御来聴を歓迎いたします。

①13:10～14:10 21世紀を担う粒子、ミュオン

金属物理研究室 主任研究員 理学博士 永 嶺 謙 忠

②14:10～15:10 抗生物質と生命科学

抗生物質研究室 主任研究員 農学博士 磯 野 清

[15:10～15:40 休憩]

③15:40～16:40 表面科学が拓く世界

表面界面工学研究室 主任研究員 工学博士 青 野 正 和

日 時：平成2年10月16日(火) 入場無料

主 催／理化学研究所

会 場：経団連ホール14階（地下鉄・大手町下車）

後 援／科学技術庁

協 賛／関連学・協会

## フォトダイナミクス研究センター 開所記念講演会のご案内

当所は、本年10月より、フォトダイナミクス研究という新しい研究プログラムを宮城県仙台市において開始することとなりました。これを記念致しまして下記のとおり講演会を開催致しますので、お誘い合わせの上ご来場下さいますようお願い申し上げます。

記

日 時：平成2年10月23日(火) 午後3時～4時30分

会 場：仙台ホテル 3階青葉の間 入場無料

(JR仙台駅西口より徒歩2分 電話022-225-5171)

講 演：「光機能の解明をめざして」

西澤 潤一 東北大学名誉教授

「宇宙に果てはあるか」

小田 稔 理化学研究所理事長

主 催：理化学研究所

後 援：科学技術庁・宮城県・仙台市・東北経済連合会・仙台商工会議所・

東北インテリジェント・コスモス構想推進協議会

お問い合わせ：フロンティア研究推進部 和光 (0484) 62-1111 EX 6141

仙台 (022)245-7106



## 大型放射光施設の播磨事務所開設

～熱い期待みなぎる現地～

理化学研究所と日本原子力研究所は世界最大級の放射光施設の計画をすすめているが、建設用地造成工事の本格化に伴い、9月13日、貝原兵庫県知事、河本衆議院議員、中村科学技術庁事務次官、両研究所の理事長など出席のもとに現地事務所の開所式を行った。

付近一帯は未だ建物が無い山の中であるが同施設は播磨科学公園都市の中核であり、開所式に引

きつづいて建設推進祝賀会が特設テント内で行われ、県議員や地元3町の職員、住民など約750人が参加。会場正面の巨大テレビにはセレモニーの進行が映し出され、速いリズムの若い女性達のダンスが繰り広げられる。会場は汗ばむ熱気で外の雷鳴も聞こえないほど、地元の期待の大きさがうかがわれた。



## 理研シンポジウム (10、11月)

テーマ	担当研究室	共催・協賛	開催日
第11回「非接触計測と画像処理」	情報科学他	日本ロボット学会 計測自動制御学会	10/25
第8回「細胞表層糖鎖の化学」	細胞制御化学		11/5
レーザー分光と反応ダイナミクス	理論有機化学	日本分光学会	11/8
新しい計算機の利用	計算機委員会		11/9
重イオン線型加速器による物質評価の新展開	核化学		11/22
新しい光応用技術	光工学	応用物理学会 日本光学会他	11/22
原子分子クラスターの化学	無機化学物理他		11/29~30
偏極不安定核ビームによる物理の新展開	放射線		11月





今年5月の中旬から6月末までの約6週間、フィンランドのユバスキュラ (Jyväskylä) に滞在した。ユバスキュラはヘルシンキから北へ約300km、フィンランド最長の湖レイクパイヤネンの北端に位置するフィンランドで第9番目に人口の多い街であり、そこからさらに北へ約600km行くとすでに北極圏という高緯度にある。日本にはなじみの薄い街だが毎年8月の後半に1000湖ラリーが開催される街と聞けばその名前を思い出される車好きの方もあろう。ユバスキュラはまた大学の街であり、街の人々は大学を誇りにしている。

ユバスキュラ大学の物理学科にはMC-20という小型のサイクロトロンがあり、研究者の大半はこれを使って原子核物理の研究を精力的に行っている。彼らの1グループは短半減期の原子核の性質を調べる道具建てとしてオンライン同位体分離装置を使用しているが、彼らは8年前技術者と共にその装置で最も重要であるイオンの取り出し方法に関して、これまでと全く異なった原理のイオンガイド法と呼ばれる方法を開発した。それは全く画期的であって、それまで困難であった高融点金属や半減期が1ミリ秒以下の同位体のイオンの引出しが可能となった。それ以降いくつかの大学や研究所でこの方法を用いたオンライン同位体分離装置が稼働を始め、ユバスキュラ大学はイオンガイド法の関係者にとってメッカのような場所となっている。

理研でも6年前からイオンガイド法をリングサイクロトロンからの重イオンビームを用いた反応に応用するための研究開発を行っており、今回の私の滞在はこのオンライン同位体分離装置の質量分解能の改善について、同大学のバリ (Valli) 教授らのグループと共同研究を行うためであり、一定の成果をあげることが出来た。理研の装置はGARIS/IGISOLと呼ばれるが、我々はこれからはこれを駆使して未知核種の探査を行ってゆくつもりである。

ユバスキュラでの生活を始めて面食らったのは白夜

だった。静かで明るい夜の、その不思議な感じに誘われてしばしば深夜にシーンとした街中や森の中をたどらぶらと歩き回っていた。人気のない明るい街、時々ま出会うのは若い酔漢と猫だけであった。日本製の花火を友人の息子に御土産として持っていったが、すぐに失敗だったことに気づいた。夏の花火は暗い夜にこそきれいなだけだから。

週末に何度かバリ教授に連れられて彼の所有する周囲200mほどの小さな島を訪れたが、そこには教授が手ずから作った2棟のログハウスとサウナがある。湖の岸から200m程のその島にこれまた教授手製の筏で渡り、サウナを熱し、サウナで体を熱しては素裸で湖に飛び込むことを繰り返す。120℃のサウナと15℃の湖との往復は心臓に悪そうだけれども病みつきになる。また岸の周辺には数軒の農家があるが、家と家は互いに1km以上も離れており、田舎では前触れなく隣家を訪れることが全く非礼にあたらぬという習慣もなるほどと思われた。

一人ビアホールで飲んでいると街の人々は少し照れながら、しかし人懐っこく話しかけて来る。街を走る車の1/3は日本車、電化製品も同様だが、極東の島国のことをよく知っている人は少ない。街の人達の質問は日本人は牛乳を飲むか、というようなことから日本には原発が何台あるのかというようなものまで多岐にわたり、ジョッキが次々と空になっていった。



サイクロトロン研究室

研究員補 森田 浩介

RIKEN ニュース No. 112, SEPTEMBER 1990 発行日・平成2年9月30日

編集発行・理化学研究所 開発調査室

〒351-01 埼玉県和光市広沢2番1号

電話 (0484) 62-1111(代表)