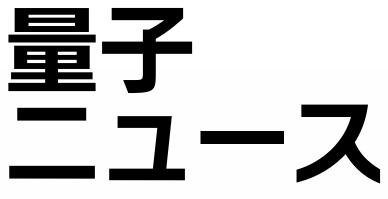
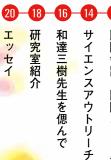
FIRST/NII-GRC on Quantum Information Processing Newsletter

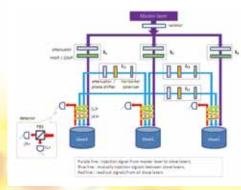




海外研究動向 プロジェクト事務局からのお知らせ 最近の研究成果

FIRST-QIPP/DYCE 夏期研修会 2011 開催報告 国際会議・国際スクール報告 サブテーマミーティング





P5 最近の研究成果より



P6 夏期研修会より



P18 図2 第2段磁気光学トラップ中の Yb 原子からの蛍光

- プロジェクト組織

中心研究者:山本 喜久(国立情報学研究所/スタンフォード大学)

共同提案者: 樽茶 清悟(東京大学)、蔡 兆申((独)理化学研究所/日本電気(株))

研究支援統括者:東倉洋一(国立情報学研究所)

サブテーマ紹介

○町…リーダー

●量子情報システム

○山本 喜久(国立情報学研究所/スタンフォード大学) Alfred Forchel (Universität Würzburg) Klaus Lischka (Universität Paderborn)

●量子計測

○山西 正道(浜松ホトニクス(株)) 藤澤 利正(東京工業大学) 太田 剛(NTT物性科学基礎研究所) 竹内 繁樹(北海道大学) 向井 哲哉(NTT物性科学基礎研究所) 平野 琢也(学習院大学)

■量子標準

○香取 秀俊(東京大学) 洪 鋒雷((独)産業技術総合研究所) 小山 泰弘((独)情報通信研究機構)

●量子通信

○井元 信之(大阪大学) 佐々木 雅英((独)情報通信研究機構) 古澤 明(東京大学) 小坂 英男(東北大学)

アナログ量子コンピューター/量子シミュレーション

○高橋 義朗(京都大学) 五神 真(東京大学) 占部 伸二(大阪大学)

理論

○都倉 康弘(NTT物性科学基礎研究所) Franco Nori((独)理化学研究所) 小川 哲生(大阪大学) 小芦 雅斗(東京大学) 根本 香絵(国立情報学研究所) Rodney Van Meter(慶應義塾大学)

超伝導量子コンピューター

○蔡 兆申((独)理化学研究所/日本電気(株)) 中村 泰信((独)理化学研究所/日本電気(株)) 仙場 浩一(NTT物性科学基礎研究所) 高柳 英明(東京理科大学) 前澤 正明((独)産業技術総合研究所) 日高 睦夫((財)国際超電導産業技術研究センター)

スピン量子コンピューター

○樽茶 清悟(東京大学) 北川 勝浩(大阪大学) 工位 武治(大阪市立大学) 伊藤 公平(慶應義塾大学) 森田 靖(大阪大学)

アドバイザー

末松 安晴((公財)高柳記念財団) 覧具 博義(元東京農工大学) 光

原子 清水 富士夫(電気通信大学) 藪崎 努(京都大学)

小宮山 進(東京大学) 榊 裕之(豊田工業大学) 半導体

超伝導 井口 家成(筑波大学) 前川 禎通((独)日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター)

理論 上村 洸(東京理科大学)

プロジェクト事務局

●技術担当 Tim Byrnes(国立情報学研究所) 宇都宮 聖子(国立情報学研究所)

■事務担当

室長 事務参事

片山 秀(国立情報学研究所) 山本 浩幾(国立情報学研究所) 事務参事補 香穂里(国立情報学研究所)

しおり (国立情報学研究所)

塩田 容子(国立情報学研究所/山本研究室)

プロジェクト事務局からのお知らせ

NEWS

■古澤明教授 (東京大学) が、Palacky University Medalを授与されました。

(授与日:2011年8月23日) 同メダルはチェコPalacky 大学の発展に寄与した研究者に贈られるメ ダルです。古澤教授は、量子光学的手法を用いた量子情報処理の分野におけるPalacky大学と の共同研究により、大学の発展に寄与したことが認められました。

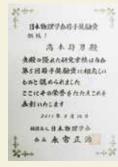
コメント:共同研究者から明日メダルをあげると言われたときは冗談だと思っていたのですが、次の日 Palacky大学に顔を出すと、テレビ局まで来ていてびっくりしました。このメダルを戴いたの は、正に「望外の喜び」でした。

■高本将男助教(東京大学)が、第5回日本物理学会若手奨励賞(領域1)を受賞しました。

(受賞日: 2011年9月23日) 同賞は、日本物理学会の当該領域に属する若手研究者の研究を奨 励するために設立された賞であり、優れた業績をあげた38歳未満の若手研究者に対して授与され ます。賞は日本物理学会の年次大会において授与されます。

コメント:このたびは、栄誉ある同賞を授与されたことを、大変光栄に思います。これまでの研究に携 わって頂いた多くの方々に感謝するとともに、今後の研究の励みにしたいと思います。 (注:賞状日付は3月26日ですが、震災で受賞式が9月23日に延期されました。)





05

INFORMATION

■森田靖准教授(大阪大学)が、研究分担者として当プロジェクトに参画されることになりました。所属されるサブテーマは、 スピン量子コンピューターになります。

-IRST/NII-GRC on Quantum Information Processing Newsletto

光格子を用いた 量子コンピューターと 量子シミュレーターの研究開発動向

京都大学 教授 高橋 義朗



ボース・アインシュタイン凝縮体や超低温フェルミガスなどの量子縮退気体を光格子に導入した系に関する研究は、様々な新しい技術が開発され、また新しいアイデアが生み出され、非常に活発に研究されており、未だとどまるところを知らない状況である。この系は、これまで固体において電子相関を起源とする超伝導や磁性を記述するために考えられていたハバードハミルトニアンにより非常によく記述することができる。そこで、この光格子中の冷却原子を研究することで、特に光・原子系の高い制御性を駆使することにより、強相関量子多体系を研究するための全く新しい研究が可能になるのである。一方、光格子の各格子点に一原子ずつ準備された状態は、量子コンピューターの初期状態としては、非常に魅力的なものである。

本記事では、最近1~2年における、光格子を用いた量子シミュレーター・量子コンピューターの研究開発動向を紹介したい。

まず、2009年に開発された量子気体顕微鏡の技術のイ ンパクトは極めて大きい。Harvard大のGreiner、Max Planck 研究所の Bloch 及び Kuhr のグループがほぼ同時 に、2次元系のRb原子ボース凝縮体を光格子に導入した 系に対して、高い集光効率の光学系を構築することにより、 格子間隔程度の空間分解能で、単一原子の感度を持った 測定系を作ることに成功した。これにより、これまで、ボース 系の超流動—モット絶縁体転移における原子数分布の直 接観測、特定の単一格子点の超微細構造スピン操作、等 に成功している。すなわち、今まで"想像"して描くしかなかっ た、光格子中の原子分布の状況を、実測することができる ようになったわけである。さらに Greinerらは、二つの隣接す る格子点の占有をイジングスピンにマッピングすることによ る、量子磁性シミュレーションの研究や、特殊な冷却法の 開発へと展開している。当然の流れであるが、Greinerらは このような高度な制御性を利用して量子コンピューターの研 究に応用することを計画している。また、Chicago大学の Chinは、2~3格子間隔ほどの空間分解能の測定系を用 いて、2次元ボース気体を研究し、量子臨界点近傍でのユ ニバーサルなスケーリング則の研究を行っている。

一方、中性原子に人工的なゲージ場を生成する研究も盛んに行われている。NISTのSpielmanらは、Rb原子に複数のレーザー光を入射させることにより、ゲージ場を生成させ、量子渦を生成することに成功している。固体中の電子の系と比べて、中性原子の系では、粒子の軌道運動に基づく相互作用が欠落していたわけであるが、それも今や、高い制御性により、様々なゲージ場を人工的に生成する手法が、提案され、実現されつつある。

また、光格子を形成するためのレーザー光を工夫することで、様々な興味深い光格子を作り上げることができることも大きな特徴であり利点である。最近、こうした工夫により、3 角格子 (Hamburg 大の Sengstock) やカゴメ格子 (UCLAの Stamper-Kurn)を生成し、そこにボース凝縮体を導入した研究が行われている。また、ごく最近、ETHの Esslingerのグループでは、ハニカム構造の光格子を実現し、そのバンド構造にみられる Dirac コーン的振る舞いを、フェルミ原子を用いて明らかにしている。

中性原子間の相互作用は接触型であり、基本的に、別の格子点にいる原子間では相互作用はほとんどないが、大きな磁気および電気双極子モーメントを有するCr原子(Stuttgart大のPfauら、およびLaburthe-Tolraら)および分子(KRb、NISTのJin及びYeら)を光格子に導入して、その異方的長距離相互作用を確認する実験が行われている。基底状態に10ボーア磁子を有するDy(ディスプロシウム)原子のボース凝縮もStanford大のLevらにより最近実現されており、光格子実験も計画されている。このような異方的長距離相互作用が存在する場合、量子スピン系の量子シミュレーションが可能になるほか、超固体など、新奇な量子相が出現することが理論的に予想されている。

このほかにも、散逸を利用した量子多体系の制御の理論(Innsbruck大のZollerら)、アルカリ土類様原子のフェルミ同位体を用いたSU(N)対称性をもった量子相の実験・理論(NISTのReyら)などが最近のホットな話題となっている。

FIRST/NII-GRC on Quantum Information Processing Newsletter

光通信理論のビット誤り率限界を世界で初めて打破

能文情報 K. Tsujino, D. Fukuda, G. Fujii, S. Inoue, M. Fujiwara, M. Takeoka, and M. Sasaki, "Quantum receiver beyond the standard quantum limit of coherent optical communication," Phys. Rev. Lett. 106, 250503 (2011).

関連URL 1 http://prl.aps.org/abstract/PRL/v106/i25/e250503

2 http://www.nict.go.jp/press/2011/06/27-1.html

(独)情報通信研究機構 佐々木 雅英

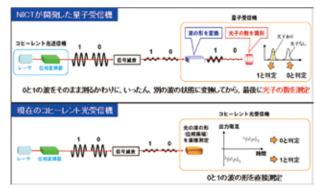
量子通信サブグループの情報通信研究機構(NICT)・量子ICT研究室(佐々木雅英室長)では、光通信のための新しい原理の量子受信機を開発し、光通信理論のビット誤り率限界を打破する実証実験に世界で初めて成功しました。光通信の性能は、0と1の信号を識別する際のビット誤り率によって決まります。ビット誤り率は、伝送システムの雑音を除去することで小さくできますが、それでも原理的に消せない雑音(量子雑音)が存在します。このため、従来の光通信理論では、ビット誤り率はある一定の限界(ショット雑音限界)より小さくすることはできないとされています。一方、量子通信理論では、量子雑音を制御することで、ビット誤り率をさらに低減できることが知られていました。しかし、受信過程での量子雑音制御は技術的に難しく、ショット雑音限界を打ち破る量子受信機は、これまで実証されていませんでした。

NICTでは、光を波として制御する従来の技術に、粒子(光子)としての性質を高精度で測定することで簡単に量子受信機を実装する方法を発案し、産業技術総合研究所及び日本大学が開発した世界最高感度の光子数検出器(超伝導転移端センサ)を組み込みんで、ショット雑音限界を打破することに世界で初めて成功しました。

この量子受信機を現在のコヒーレント光通信の受信機に置き換えて、既存の光ネットワークインフラに組み込めば、長距離光ファ

イバ通信の中継増幅器の数の削減や、光ファイバ中の送信電力を上げずに、通信の大容量化を実現することが可能になります。 衛星―地上間の光通信の高性能化への利用や、光エネルギーの計測標準技術などにも適用することが可能です。

この成果はPhys. Rev. Lett. 106, 250503 (2011) に掲載されました。



2値位相変調信号に対する量子受信機と従来のコヒーレント光受信機。後者では信号 光と局発光を干渉させ、0と1の波の形を電流値として測定します。一方、今回の量子 受信機では、それぞれの波を参照光と干渉させ、いったん、別の波の状態に変換してから、 最後に光子の数を測定します。光子が一つでも検出されれば1と、それ以外は0と判定し ます。これによって、量子雑音の効果を抑圧しながら高精度で識別することが可能になり ます。

量子ドットにおいてスピン軌道相互作用の電気的な制御に成功

論文情報 Y. Kanai, R. S. Deacon, A. Oiwa, K. Yoshida, K. Shibata, K. Hirakawa, Y. Tokura & S. Tarucha, "Electrically tuned spin—orbit interaction in an InAs self-assembled quantum dot", Nature Nanotechnology 6, 511–516(2011) doi:10.1038/nnano.2011.103 (August 2011)

^{東京大学} 樽茶 清悟

関連URL http://www.nature.com/nnano/journal/v6/n8/full/nnano.2011.103.html

東京大学・樽茶清悟のグループは、量子ドット中の電子スピンを用いたスピン量子ビットからなる小規模量子システムの開発を目指しいています。最近、InAsナノワイヤーにおいて、強いスピン軌道相互作用を利用して、50MHz程度の高速なラビ振動が報告され、スピン軌道相互作用が低消費電力で忠実度が高い電子スピン操作を実現する有望な手法として注目を集めています。しかしさらなる高性能化のために不可欠な、スピン軌道相互作用の電気的制御は量子ドットでは実現されていませんでした。

本研究では、スピン軌道相互作用が強い InAs自己形成量子ドットを用いました(左図)。 ドットに近接させたサイドゲート電極により非対 称にドットの横方向の閉じ込めポテンシャルを 変化させると、電極との結合などの様々なパラ メータを電気的に制御できるという特徴を備え ています。これを利用して、スピン軌道相互作 用の電気的な制御を試みました。

スピン軌道相互作用の効果は、スピンの異なる2つの軌道がほぼ縮退した場合に準位反交差として現れます。我々はこの反交差を、近藤効果による伝導度ピーク(近藤ゼロバイアス異常)の分裂として観測できること明らかに

し、スピン軌道相互作用エネルギー Δ を定量的に測定することに成功しました。さらにサイドゲート電圧 V_{SB} を変化させ、電子数を変えずに、伝導度ピークの分裂の大きさ、つまり Δ の電気的制御を実現しました(右図)。これは反交差に関与する電子状態の空間的な相対位置をサイドゲートで変化させたためであると考えています。

本研究はNTT物性科学基礎研究所 都倉康弘らと共同研究として行われ、この成果は、Nature Nanotechnology 6, 511-516 (2011) に掲載されました。

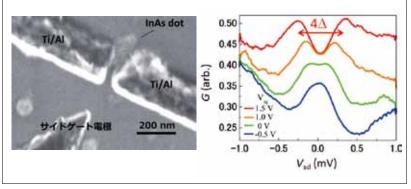


図:(左)試料の電子顕微鏡写真。(右)近藤ゼロバイアス異常のサイドゲート電圧依存性。スピン軌道相互作用エネルギー Δ を反映した分裂の大きさがサイドゲート電圧 V_{SE} で変化します。

2011 December

量子ドットホールスピンの光パルスコヒーレント制御と核スピンフィードバックの抑圧

K. De Greve, P. L. McMahon, D. Press, T. D. Ladd, D. Bisping, C. Schneider, M. Kamp, L. Worschech, S. Höfling, A. Forchel and Y. Yamamoto, "Ultrafast coherent control and suppressed nuclear feedback of a single quantum dot hole qubit", Nature Physics, Published online: doi:10.1038/nphys2078 (August 2011)

脚連URL http://www.nature.com/nphys/journal/vaop/ncurrent/abs/nphys2078.html

国立情報学研究所/スタンフォード大学 山本 喜久

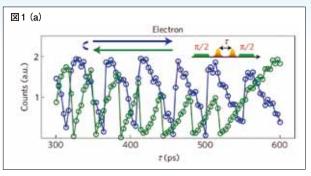
Ⅲ-V族半導体で構成された量子ドット中の電子スピンは、量 子ビットの有力候補の1つである。特に初期化、1ビット制御、2ビッ ト制御、射影測定、エンタングルメント配信の全ての量子情報処 理操作を光パルスを用いて高速に行える点に魅力がある(Nature Photonics 4,367,2010)。しかし、Ⅲ-V族半導体の結晶構成 原子には必ず原子核スピンがあり、1つの電子スピンは膨大な数 の原子核スピン熱浴とのハイパーファイン結合によるじょう乱を受 けることになる。図1(a)には、初期化と読み出しパルス(緑色) にはさまれた2つの $\frac{\pi}{2}$ パルス (黄色) からなるラムゼー干渉計を InGaAs量子ドット中の電子スピンに対して構成した時のラムゼー 干渉パターンを遅延時間を上げていった時と下げていった時の両 者に対してプロットしている。ヒステリシス特性が見られるのは、原 子核スピン熱浴が光ポンピング効果により偏極しているためである (PRL 105,107401,2010)。ホールスピンはそのブロッホ関数 がp波であるため、原子核スピンとのハイパーファイン結合が小さ く抑えられ、上記のようなヒステリシス特性を抑圧できる可能性を 持っている。図1(b)に、同様のラムゼー干渉計をホールスピンに 対して構成した場合の実験結果を示す。ヒステリシス特性が消滅

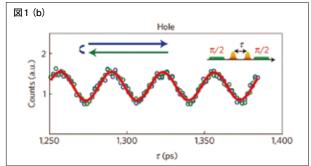
していることが確認された。ホールスピンは原子核スピン熱浴によ

るデコヒーレンスにも強く、電子スピンに比べより長いT₂時間を実

現できると期待される。今後はこの点についても検討を加えていく

予定である。





イジングモデルの注入同期レーザーシステムへのマッピング

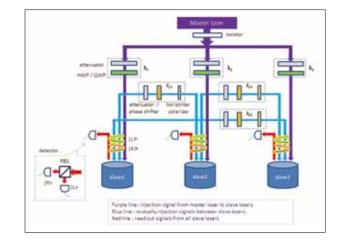
Shoko Utsunomiya, Kenta Takata, and Yoshihisa Yamamoto, "Mapping of Ising models onto injection-locked laser systems", Optics Express, Vol. 19, Issue 19, pp. 18091-18108 (2011) doi:10.1364/OE.19.018091

国立情報学研究所 字都宮 聖子

関連URL http://dx.doi.org/10.1364/OE.19.018091

3次元 (あるいは2次元+磁場) のイジングモデルはNP完全問 題の一つとしてよく知られている。NP完全問題にかかる計算時間 を問題サイズの増大に対して多項式発散で抑えることができれば、 すべてのNP問題は多項式時間で解くことができることが知られて いるため、量子アニーリングなど様々なアプローチでNP完全問題 を多項式時間で解くことが模索され続けている。今回私たちは面 発光型半導体レーザー (VCSEL) の相互注入同期を用いて、イ ジングモデルの解(最低エネルギー状態)を効率よく見つけ出すプ ロトコルを提案した。安定なマスターレーザーによって周波数と位 相をロックされた M個 (イジングモデルのサイト数に対応する) のス レーブレーザーからの出力光を相互注入によって連結し、その結合 の強度と位相をイジングモデルのサイト間の結合定数に対応させ ると、連結されたそれぞれのスレーブレーザーの偏波は一定時間経 過後に定常状態に落ち着く。各サイトのイジングスピンは、各スレー ブレーザーの右回り、左回り円偏光に対応しており、それぞれのス レーブレーザーの持つ偏光状態は、イジングモデルの各サイトのス ピン状態として読みだすことができる。相互に連結されたM個のス レーブレーザーは全体で大きな一つのレーザーシステムとして考え ることができ、最終的に定常状態として選択されたM個のスレーブ レーザーの偏光状態の組み合わせ(発振モード)は、イジングモデ

ルの最低エネルギー状態に一致している。各サイトのイジングスピンは約10⁴~10⁵個の光子からなる開放系のレーザーシステムで実現されているため、ノイズに強くデコヒーレンスの影響を受けにくい。このシステムは既存の半導体レーザーと線形光学素子、制御回路で構成する比較的シンプルなもので、室温で動作する点に魅力がある。現在数値シミュレーションにより、M=18のNP完全問題まで多項式計算時間を確認している。



05

FIRST-QIPP/DYCE 夏期研修会2011

―関西・関東学生チャプター合同研究会―

開催報告

1. 趣旨

量子情報処理のような先端研究分野においては、専門の異なる講師陣のチームティーチングにより、学術的基礎 から最先端の知識・技術までを最短距離でカバーする集中講義を行う機会が重要です。またこのような新領域 においては、他の分野との交流による境界領域の開拓が大きなブレークスルーにつながることが多々あります。 そこで、2011年度の夏期研修会は量子情報と光科学の接点に焦点を当てて開催いたしました。

2. 幹事団 (※敬称略・順不同)

オーガナイザー: 樽茶 清悟(東大)、五神 真(東大)

幹 事:小芦 雅斗(東大)、仙場 浩一(NTT物性研)、高橋 義朗(京大)、小川 哲生(阪大)

3. 開催内容 1. 日程 2011年8月12日(金)~17日(水)

2. 人数 80名

3. 場所 京都大学 吉田キャンパス 百周年時計台記念館

4. 主催 最先端研究開発支援プログラム「量子情報処理プロジェクト」 新学術領域「半導体における動的相関電子系の光科学」

共催 Photon Frontier Network Program「先端光量子科学アライアンス」

後援 新学術領域「量子サイバネティクス」

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 量子情報国際研究センター

「夏期研修会」に寄せて

オーガナイザー:東京大学 樽茶 清悟

先の8月京都(京大百周年時計台記念館)において、大学 院生、若手研究者を対象とする研修会が6日間に渡り開催され た。同様の研修会は例年沖縄において10日間の日程で開かれ、 量子情報の基礎と応用を広くカバーするよう企画されていた。今 年の研修では、期間を短縮した分科目を絞り、また新企画として 光科学との接点にあたる科目が入れられた。様々な点で例年と は異なるスタイルだったので、当初研修生の様子が気懸りであっ たが、結果的には例年同様、研修生の皆さんの熱心さが直に 伝わってくる研修会であった。

折から京都は日中の日差しが強く、夕方、ホテル近くの鴨川の 河原で川風に吹かれてようやく落ち着きを取り戻すように思えた。 この時節を感じることもなく、会議場では夕方まで講義が行われ、 夕食後には宿泊ホテルに場所を移して夜遅くまで研修生による ポスター発表と討論が行われた。いつもながら、よくこの生活が 続くものだと、研修生の皆さんのエネルギーには感心させられた。 僅かに5日目、五山送り火の夜に自由時間を設定してあったので、 大文字焼きを見て一息ついた人も多かったのではないだろうか。

最後に、共同生活を通して異なる分野の研究に携わる研修

牛の間に交流が深まることは、本研修の重要な副産物である。 実際、人数が少なく、時間的にも余裕があった沖縄では、研修 生の間には自ずと連帯感が生まれていた。今回は人数が倍で短 期間だったので心配したが、従来から活動している学生チャプ ターからの参加協力が幸いして、チャプター常連の人たちを中心 にまとまりができていたように思う。量子情報の研究は専門性が 高く、所属研究室で多くをカバーすることは難しい。研修会と学 生チャプターがうまく連携できれば、量子情報研究のネットワーク がスムースに広がっていくように思う。



授業全般について

サマースクールの講義の狙いは、将来を期待される受講生の 方々に、量子情報分野の研究を進めていくために必要な基礎 を固めてもらい、同時に最先端の研究成果にも触れていただく ことである。今回は長さが実質5日間となり、昨年のスクールに 比べて約半分のボリュームである。そのため、必要な事項をカ バーするために一日の講義時間を増やすことも一案であった。 一方、今回は、会場近辺に宿泊せずに遠くの自宅から毎日通 う受講生の方もいるため、負荷が大きすぎると集中力が維持で きなくなる。迷った末に、昨年と同じ講義時間で行くことにした。 全体としては、最終日でも活発な質疑が交わされ、緊張度の高

いスクールが維持できたという印象であったが、一部の受講生

にとっては負荷がやや大きかったかもしれない。

講師担当:東京大学 小芦 雅斗

半分になった総講義時間をどう配分するか、というのも大きな 悩みであった。学生チャプターにもアンケートに協力いただき検 討を重ねる中で、いくつかのテーマに特化して他を切り捨てる案 も浮上したが、今回のみ参加する受講生のためにも、最低限 重要な分野については網羅すべきだという結論に達した。ひと つひとつの分野の講義時間は短くなってしまったが、講師の方々 にはお忙しい中で工夫を凝らし、わかりやすく面白い講義を展開 していただいたことに感謝している。

また、今回は新学術領域 DYCE と APSA との共催となり、 これらのプロジェクトから半導体・光科学に関して 4 人の講師を お願いした。この際、コロキウム的な講演だけでなく、高強度 場のアト秒科学に関しては、複数のコマに渡って基礎からのシ リーズ講義をお願いした。量子情報を中心とするこれまでのサ マースクールと異なり、受講生の多数にとって馴染みの薄いテー マではあったが、講師の方々のご尽力により、予備知識なしで も十分にエッセンスを理解して楽しむことができる有意義な講義 であったと感じている。



講師一覧

小芦 雅斗先生	東京大学	量子情報基礎
平野 琢也先生	学習院大学	量子光学:基礎編
		量子光学:展開編
都倉 康弘先生	NTT物性科学基礎研究所	半導体中の飛行量子ビット
樽茶 清悟先生	東京大学	量子ドット中の電子スピンを用いた量子計算
香取 秀俊先生	東京大学	光格子時計の高精度周波数比較
石川 顕一先生	東京大学	高強度場現象·アト秒科学の理論(1)高強度レーザー場中の原子のイオン化
		高強度場現象・アト秒科学の理論(2)高次高調波発生とアト秒パルス
浅野 健一先生	大阪大学	準熱平衡状態にある電子正孔系の理論
高橋 義朗先生	京都大学	冷却原子を用いた量子シミュレーション
仙場 浩一先生	NTT物性科学基礎研究所	超伝導量子ビットからハイブリッド量子システムへ
板谷 治郎先生	東京大学	高強度レーザーによるアト秒実験
R. Van Meter先生	慶應義塾大学	Surface Code Quantum Computation
		Quantum Computer Architecture
納富 雅也先生	NTT物性科学基礎研究所	フォトニック結晶による光閉じ込めと光制御
野村 晋太郎先生	筑波大学	二次元電子系の量子多体効果と光学応答

ポスター全般について

学生担当:NTT物性科学基礎研究所 仙場 浩一

ポスターセッションは、初日8月12日~15日 の4日間夕食 用の時間の後に宿泊場所の京都ロイヤルホテル&スパの2階 のポスター会場(青雲/瑞峰)で行われた。8月12日 量子情 報システム・冷却原子気体・理論 I、8月13日 量子通信・ 量子計測・理論 Ⅱ、8月14日 超伝導量子コンピュータ・量 子計測・量子標準、8月15日 量子ミュレーション・スピン量 子コンピュータ。4日間で、約80のポスター発表があった。今 回は、講義のない初日を除いて、できる限り、その日の講義の テーマに関連の深いポスターをまとめるように分類して開催され た。ポスター会場が宿泊場所のホテルに設定されていたことも あり、連日、守衛さんがポスター会場を施錠しに来る深夜 1AM 頃まで熱心な議論が続いていた。

参加者各自が聞きたいポスター発表を事前にマークすることが できるように、夕食休憩前の最後の講義の後(国際交流ホール Iにおいて、初日のみはポスター会場にて)、ポスターセッション に先立って、今回は発表者による手短な1分間概要アピールの 時間を設けた。毎日、約20のポスター発表が設定された。誰も が発表している間に夢中になり、予定の1分間では時間が足り ずに、20人全員が概要説明を終えるのに約1時間かかり、ポス ターセッション開始時間が毎日予定よりも、30分~1時間程度 遅くなった。また、会期が5日間と短かったために、各自1回しか 発表の機会がなかったため、深く議論したい同じ分野の、あるい は関連分野のポスター発表者がお互いの内容について、ポス ターセッションの時間内に議論することが難しかったことは、今後 の要検討課題であった。時間があれば、2回発表するようにする か、あるいは、講義のテーマに関連の深いポスターをまとめない 方が、かえってよかったかもしれない。



参加者全般について

昨年まで、沖縄において約10日間の期間で行ってきた夏期 研修会であったが、震災に対する配慮から、今年度は、講義 会場として、京都大学吉田キャンパスの百周年時計台記念館 2階国際交流ホール1、宿泊・ポスター発表および送り火鑑賞 会場として、京都ロイヤルホテル&スパをそれぞれ使用して行わ れた。参加人数は例年より多い80名ほどで、開催期間は、8 月12日夜から8月17日の夕方までの約5日間という約半分の 期間であった。

施設担当:京都大学 高橋 義朗

京都開催は初めてだったことで様々な面で心配があった。特 に開催時期が、会場予約の関係もあり夏真っ盛りのお盆の時

07

期に重なった。当初予想していなかった関西電力の電力供給不安があったが、例年に比べて暑さがましであったこともあり、通常通り行えたことは好運であった。また、ランチ休憩、ディナー休憩が約2時間と短めだったことも心配されたが、これも何とかスケジュール通りに進行することができた。

今年度は「先端光量子科学アライアンス」との共催ということもあり、これまで交流が少なかった分野から多くの参加があった。講義やポスターセッションでは、様々な分野の若手からの活発な質疑・議論が展開されて本領域の学生・ポスドク研究員の積極性がうかがえて大変頼もしい感じであった。今年の夏期研修会も、各層の参加者の交流の場として大変有効に機能したのではないかと思う。

最後に、青木さん、窪田さん、を中心としたNIIスタッフ、そし

て現地スタッフとして京大の清水さんおよび学生諸君の用意 周到な準備により万事滞りなく進行することができた。あらため て、ここに感謝の意を表したい。



参加者

感想

慶應義塾大学大学院 理工学研究科 伊藤研究室 修士課程2年(夏期研修会参加当時)
Delft University of Technology, Kavli Institute of Nanoscience, Quantum Transport group (現在)

— 其里加

2011年の夏期研修会に参加させて頂きありがとうございました。私にとっては、初めてのサマースクール参加でもありました。

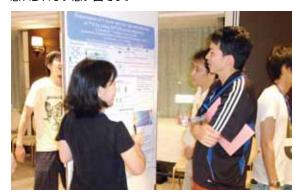
日中の京都大学での講義は、研究の分野も多岐に渡っていて、今まで知らなかった新しく興味をそそられる分野を見つけることが出来ました。自分の研究に近い講義では、理解していたつもりでも十分な理解をしていなかったことに気づいたり、第一線の研究者からの講義であることの恩恵を存分に受けることが出来ました。

夜のポスターセッションはアットフォームな雰囲気で、学会ではつい気後れをしてしまい聞けないことまで質問することが出来ました。一週間の中で、他の参加者と少しずつ打ち解けていき、帰りの新幹線の中でも、最後の時間を惜しむかのように、議論に花が咲きました。

この研修会での一番の収穫はたくさんの仲間に出会えたことです。博士課程に進学する同世代の友達が私の周りには少なかったので、同じ志を持つ同期や先輩方と出会い、悩みを共有したり、アドバイスを頂いたり、或いは未来への野望を語

りあったり、かけがえのない時間を過ごすことが出来ました。

最後になりますが、夏期研修会を企画して頂いた幹事の先生方、関西スチューデントチャプターの皆様、国立情報学研究所の方々に感謝致します。短い時間の中で、参加者が活発に交流が出来るように工夫して下さっていたのには、本当に頭が下がります。鴨川の土手で皆様とお弁当を食べたことは、一生忘れられない思い出です。



参加者

感 想

東京工業大学 大学院理工学研究科基礎物理学専攻 宇宙物理学理論研究室 博士課程3年(夏期研修会参加当時) 連野 豊 博士研究員(現在) 地名

東日本大震災の余波は非常に大きく今回のサマースクールの開催すら危ぶまれたと聞いている。そんな中、例年行われきた沖縄でのサマースクールの規模を少し拡大し、新学術領域「半導体における動的相関電子系の光科学」と共同主催する形で開催された。まず、初めに本サマースクールを開催していただいたことに、講師の先生方、スタッフの皆さんには、本当に感謝しております。また、初めて参加される方も多く、量子情報に少しでも関心を持ち、研究する「仲間」として今後何か一緒にできたらと思っている。

講義としては、朝から基礎的なものから応用的なものまで幅広く、今までのサマースクールで聞けないような電子輸送の話、アト秒レーザー科学の話など実に実りの多いものとなった。また、しっかりと講義ノートを自分のノートパソコンで見ながら進められる体制になっていたので話を聞くのに集中できて良かったと思う。ポスターセッションでは毎晩遅くまで質疑

応答を繰り返した。お互いが教えあう関係になっているという 関係が築けてきている感覚が私にとっては非常に嬉しかった し、今回のサマースクールに参加した意義はそれだけでもあ ると思う。参加者同士のコミュニケーションを図るためのイベ



ントは毎日のように誰からともなく自発的に考えて実行されて きた。川原でご飯や送り火鑑賞会、送り火鑑賞会の後の飲み 会など、京都ならではの知恵を絞って皆が楽しむことができた と思っている。

最後に、私の個人的な見解を述べさせていただく。今、量 子情報という業界は曲がり道にいるという感覚は日に日に増し

ている。だからこそ、誰しもにチャンスがあり、次のブレイク スルーを起す前夜のような感覚が私にはある。それが実現で きるのも、周囲の助けのお陰であり、切磋琢磨する「仲間」 の存在が必要不可欠であると思う。そのために、サマースクー ルの存在は「仲間」を作るのに絶好の機会であると私は信じ ている。

参加者 感 想

玉手 修平 京都大学 工学研究科 北野研究室 博士課程2年

これは夏期研修会の際に聞いた言葉かは定かではないので すが、山本先生がよくおっしゃっている言葉に印象的なものが あります。それは、量子情報分野はこのまま真っ直ぐ進んだの ではきっとうまくいかない。何らかのブレークスルーがないと たぶんダメだろう。そのためには、沢山の分野の方を取り込ん で、色々な視点に立って物理を考えることが大事だ。そのよう な言葉です。夏期研修会はまさに他分野の研究者の横の繋が りを広げ、知識を共有し、皆で大きな目標に向かっていくため の足がかりとなる非常に楽しいイベントです。

今回は京都での開催ということで、朝の9時から夕方5時 までは京大で講義を受け、夜はホテルでポスター発表となか なか忙しい1週間でした。それでも、短期間で開催するには京 都はやっぱりよいところで、朝は鴨川沿いをのんびり歩いて大 学に向かい、昼休憩には知恩寺の手作り市を見てまわる。最 後の晩には大文字の送り火と、京都ならではの楽しみを満喫 できました。さて、内容についてですが、講義に関しては基礎 的なものが少なく、成果発表じみた講義が多かったのが少し 残念でした。それでも、石川先生のアト秒科学の講義など、普 段とは少し毛色の違うものの見方を感じとれたことは非常に 刺激になりました。

最も印象的だったのはやはりポスター発表です。「量子情 報」の名のもとに同じ分野にいるようで、その実全く異なる物 理系を扱っている人たちが集まるポスター発表はいつ見ても 不思議な空間です。夏期研修会のポスター発表は夜の帳が下 りてから行われるせいか、普段とは違う軽い気持ちで質問が できるのがよいところだと思います。終わり際には白熱すると

いうより、みんな適 当になってきてい て、でもその適当 な質問が面白い、 そんなポスター発 表でした。

今回の夏期研修 会で得た知識や繋 がりを大切にし、今 後の研究生活をま すます充実したも のにしていきたい と思います。



参加者 感 想

(独)理化学研究所 基幹研究所 巨視的量子コヒーレンス研究チーム 研究員 吉原 文樹

まず始めに、サマースクールを企画してくださった幹事の先 生方、支えてくださったスタッフの皆様に感謝します。2004年 沖縄、2005年高知、2010年沖縄に続いて、今年も参加する ことが出来ました。毎度、行く前は、「10日間以上(今回は6日間) も研究室を離れるのでその分実験が遅れてしまう。」などと、うじ うじ考えてしまうのですが、帰るころには、体力、気力を使い果 たしていると共に達成感、満足感に満たされています。何かしら 講義、ポスター発表、遊び、飲み会の全てにおいて全力を尽く さないともったいないという気持ちになります。

サマースクールは、世界中の優秀な頭脳が集まっている分 野の一つである量子情報、量子光学の、程よく専門の違う様々 な年齢、地位の人達が物理を満喫しつつ真剣勝負をしている 場だといつも感じています。楽しく過ごしながらも常にお互い の研究能力を見定めています。知識レベル、思考力、創造力、 数学の力、実験技術、得意分野などを判断して、議論の相手、 もう一歩進んで共同研究の相手を物色しています。真剣勝負 は参加者同士に限らず、講師同士、講師と参加者の間にも繰 り広げられています。

真剣さが良い方向に働いているためか、渾身の出来ともい える質の高い講義の数々です。準備にかかる労力を想像する

と感激します。大学教授などの確固たる地位にある先生方も、 少し手を抜けば研究能力に疑問符を付けられ、良い学生、ポ スドク、助教などが入って来なくなる、また、プロジェクトに呼 ばれなくなる、と感じておられるのではないでしょうか?

僕はサマースクールに何度も参加させていただいているお かげで、多くの研究者の方と知り合いになりましたが、今回も 新たに多くの人と知り合うことが出来ました。学会などでの再 会がとても楽しみです。日々研究に励み、会うたびごとに少し でも新しい知識やデータを持っていたいと思います。



09

IRST/NII-GRC on Quantum

Information Processing Newslet

December

量子標準

【平成23年度第1回】

幹事(報告者): 小山 泰弘(情報通信研究機構)

リーダー: 香取 秀俊(東京大学)

開催日:2011年7月7日(木)

場所:情報通信研究機構 参加人数:27名

報「告」概「要

平成23年度一回目となるサブテーマミーティングを情報通信研究機構にて開催した。まず、量子標準サブテーマを構成する3機関から、高野(東大)、洪(産総研)、井戸(情通機構)が各機関における進捗状況と今後の見通しを次の通り報告し、質疑を通じて技術的な議論と情報の共有を行った。

高野:「ストロンチウム光格子時計の同位体シフト

測定」:東大で行った2台の光格子時計(1次元87Sr 光格子時計、3次元88Sr光格子時計)の時計遷移の同位体シフト測定について報告した。この測定は、前回のミーティングで報告した同期比較の手法を活用して行った。その結果、磁場・光格子・原子間衝突に起因する周波数シフトを1×10-16以下の不確かさで測定することが可能となった。同位体シフト測定全体の不確かさは5×10-16となり、以前の実験の不確かさ3×10-15から大きく改善した。その一方、黒体輻射シフトによる不確かさが最も支配的であり、このシフトの抑制が今後の課題となることが分かった。

洪:「YbとSr光格子時計及び光周波数コムの進展」:

産総研で展開されているYb光格子時計、Sr光格子時計、狭線幅化レーザー、ファイバー型光周波数コムの研究について、現状及びFIRSTプログラム量子標準における研究計画を説明した。特にSr光格子時計の研究においては、ファイバーコムを使った独自のスキームで光源の安定化を行い、第2ステージのレーザークーリングに成功している。それぞれの研究テーマのロードマップを提示



し、進捗状況を確認した。さらに、秒の再定義への貢献に絡んで、6月28-29日に国際度量衡局で行われた「新しい時間・周波数伝送技術の発展に関するワークショップ」の参加報告を行った。

井戸:「ファイバ伝送による東大-NICT間光格子 時計直接周波数比較」: 前回のサブテーマミーティング 以降実施した、ファイバ伝送によるNICT-東大間の光 格子時計周波数比較の精度向上の取り組みについて報 告を行った。まず、NICTにおいてより狭線幅が得られて いるカルシウムイオン原子時計用のクロックレーザー (729nm) の性能を生かすため、NICT において87Sr 光 格子時計用クロックレーザーを光周波数コムを介して 729nmレーザーに安定化してSr光格子時計の短期安 定度を改善した。また、ファイバ伝送による偏光の回転を 抑制する機構を新たに設け、2時間以上にわたって二拠 点間の光格子時計をコヒーレントにリンクする連続運転を 可能とした。これらの改善により、東大とNICT間の標高 差による重力シフト等が原因となる2つの時計の周波数 差を明瞭に観測し、これら既知のシフト要因を補正すると、 両拠点の独立した光格子時計の周波数が7.3×10-16 (0.3Hz) の不確かさで一致することを確認した。

以上の報告の後、全体的な自由討論を行い、その後、情報通信研究機構の光格子時計、カルシウムイオントラップ光周波数標準、光周波数コム、原子泉型セシウムー次周波数標準器、狭線幅レーザー、等の実験室の見学を行った。



スピン量子コンピューター

【平成23年度第1回】

幹事(報告者): 工位 武治(大阪市立大学)

リーダー: 樽茶 清悟(東京大学) 開催日: 2011年8月18日(木) 場所: 大阪市立大学 参加人数: 20名

報|告|概|要

スピン量子コンピューターサブグループの平成23年度第1回サブグループミーティングを実施し、講演・全体質疑終了後、大阪市大グループの関連実験研究施設のツアーを行った。各グループの発表と議論のサマリーは下記の通りである。

東大: 樽茶、大岩「GaAs量子ドット中の電子スピンを用いた量子ゲートの高速化とSi量子ドットの作製」: 磁石法による拡張性のあるスピン量子ビットのX回転ゲート高速化のためのデバイス構成と実験結果、磁場不均一を利用した高速Z回転ゲートの提案、一様ドープ S/SiGe2次元電子を用いた2重量子ドット作製と電荷ダイアグラムの観測、拡張性の新しいアプローチとして、離れたドット間の表面弾性波による単一電子伝搬実験ついて報告した。「光子-電子スピン量子状態転写とスピン軌道相互作用制御」: GaAs2重量子ドットの単一光電子のドット間移送実験(スピンT1時間内)、g因子制御した量子井戸2次元電子の作製とg=0のための構造パラメータの提案、InAsドットのスピン軌道相互作用のゲート制御について議論した。

阪 大:北 川「Architecture, Compiler and Measurement for Scalable Molecular Spin Quantum Computation」: 量子コンピュータのスケーラビリティの問題を、アーキテクチャ、初期化、測定、制御由来デコヒーレンスの面から考察し、スケーラブルなアーキテクチャとして (ABC) n型の利点を指摘した。また、量子アルゴリズムから物理系を操作するパルスに翻訳する量子回路コンパイラの開発の進捗状況を報告した。最後に、



既に実現した広義のスピン増幅を単一スピンの増幅、測定に発展させる計画について述べた。

慶應:関口(伊藤代理)「同位体制御Si中の不純物電子スピン・核スピンの制御」:28Si同位体結晶中Pドナーの、電子・核(31P)スピンの各デコヒーレンス時間T2やNMR周波数の、測定・制御に関する実験結果を報告した。低温での電子スピンデコヒーレンス機構を解明し、それを抑えるためのパルス系列の改善を行ってきた。束縛励起子光学遷移を利用した電気検出型NMRの開発により、ドナー濃度の非常に低い試料の測定を可能とし、これまでで最長のT2(31P核)を示した。また、超微細相互作用のSi同位体組成依存性について、29Si核スピンの影響よりもSi同位体質量の影響が大きいことを明らかにした。さらに、Si中のV-O欠陥の光励起スピン三重項状態、Biドナー、Asドナーに関する磁気共鳴実験結果も合わせて報告した。

大阪市大:工位「Candidates for Synthetic Molecular Spins Coupled/Hybridized with Macroscopic Superconducting Qubits: Molecular Design and Characterization of the Spin Properties」:今回は、領域内の他グループとの共同研究の実施を目指して、量子情報処理/量子コンピュティングの分野において重要なテーマになりつつある、巨視的超伝導qubitと微視的スピンqubitのアンサンブル系との結合に関連して、分子スピンqubitの物質開発の一般的な設計指針を紹介し、実際に結合条件を満たす安定な基底三重項分子スピンを合成・単離し、結晶構造解析及びそのスピン物性の完全解析を行ったことを報告した。



超伝導量子コンピューター

【平成23年度第2回】

幹事(報告者): 蔡 兆申((独)理化学研究所/日本電気(株)) リーダー: 蔡 兆申((独)理化学研究所/日本電気(株))

開催日:2011年10月5日(水)

場所:NEC グリーンイノベーション研究所 参加人数:24名

報|告|概|要

理研・NECチーム:超伝導共振器と磁束量子ビットの静電容量を介した結合に関して理論と実験を紹介した。静電結合でも容易に強い結合強度が得られることを示し、共振器周波数の大きな分散シフトおよび量子ビットの離散化されたACシュタルクシフトを観測した。(山本剛)

強く共鳴駆動した磁束量子ビットにおいてBloch-Siegertシフトを観測した。またRabi振動の減衰時定数から、100MHz-1GHzの周波数帯における磁束揺らぎの評価を行なった。(吉原文樹)

共振器中に配置した複数の磁束量子ビットに対して、 決定論的に1ステップでGHZ状態を生成する方法を理 論提案した。(Zuihui Peng)

NTTチーム:測定ラインのフィルターや試料構造の 改善を行い、ジョセフソン分岐増幅 (JBA) 読み出し回 路中の磁束量子ビットのエネルギー緩和時間を 100ns から数 μ s \sim 1 桁以上延伸することに成功したと報告し た。また、JBA の状態に応じた量子ビットのエネルギー 準位シフトも観測している。今後、これを量子フィードバッ クへと応用する。(角柳)

量子メモリーの原理実験として、ギャップ可変型磁束 量子ビットとダイヤモンド中のNVセンタのスピン集団と のコヒーレントな結合の実験に関して報告した。量子ビッ トのスペクトル中の約70MHzの反交差より、結合に寄 与したスピンの数を約3千万個と見積もり、数十ns続く 量子ビットとスピン集団間の真空ラビ振動の観測も報 告した。(Zhu)

東京理科大チーム:自己成長InAs量子ドット中のスピン状態は円偏向光子によって選択的に形成され、量子ドットそのものは超伝導体と容易に結合できるため、その量子インターフェースとしての可能性を追求するために、我々は半導体量子ドット・超伝導体複合構造の研究を行っている。我々は、このプロジェクトに対する2つのアプローチを簡単に紹介した。(1) 単一スピンに対する量子ドットジョセフソン接合を含む量子ドット

SQUIDの研究。(2) スピンアンサンブルに対するAI ベースのSIS-SQUID の研究。そして量子ドットスピンの光学的励起の準備的実験として、InAs量子ドットのフォトルミネッセンスと量子ドットジョセフソン接合の光励起輸送を紹介した。これらの結果は、表面を覆われていない量子ドットであるために、量子ドットの可能な表面準位の存在を示し、さらに次の光学実験のための新しいデザインの提案に結びつく。

ISTEC・AISTチーム: ISTEC からAI 微細ジョ セフソン接合(JJ)の第1回試作結果が報告された。所 望のJJ特性は見ることができなかったが、JJの下部電 極パターンが大きすぎたためCMPによるJJ頭部露出 工程の終点検出が困難になるなどいくつかの問題点が 指摘された。この結果を踏まえて改良されたJJ作製プロ セスが AIST から報告された。主な改善点は、JJ エッチ ング後にPE-CVD法を用いてJJ回りにSiO2保護膜を 設けることである。また、保護膜としてAIの陽極酸化膜 も検討することとなった。JJ微細化に関して、EB露光 によるJJパターン形成後、アッシングを用いてパターン を縮小するSlimmingと呼ばれる手法を用いて直径 33nmのAIパターンが得られることが示された。9月に オランダで行われた超伝導発見100周年記念国際学 会における量子ビットプロセス関連発表の報告が行わ れた。



玉

際

ス

報

講演内容を主にした報告

■国際会議名:2011 年欧州物質科学会・秋の総会 (EMRS 2011 Fall Meeting) ■会議期間:2011 年9月19日 (月) ~23日 (金)

■講義/発表名: Occurrence of Fermi pockets without pseudogap hypothesis and clarification of ARPES spectra in underdoped cuprate superconductors ■報告者: アドバイザー上村 洸 (東京理科大学特別顧問)

会議は、物質科学の分野における13の最先端トピックス に対応したシンポジウムで構成され、地下1階地上4階建て コンクリート建築で、天窓付きの広い中庭をもつワルシャワ 工科大学で開催された。参加者は、700人弱であった。私は、 「新超伝導物質の最近の進歩」と題するシンポで、初日に招 待講演を行った。銅酸化物のフェルミ面については、銅酸素 面に平行な軌道のみに注目して、大きなフェルミ面の形状を 主張する1成分軌道モデルと、反ヤーンテラー効果による2 成分軌道を考慮し、反強磁性秩序と共存する金属状態で、 ドープしたホールのみから形成されるフェルミ・ポケットの形 状を示す Kamimura-Suwa (K-S) モデルがある。 大きなフェ ルミ面が観測されない実験結果に対して、1成分軌道モデ ルは、「擬ギャップ」が存在して観測を妨げていると主張する。 ARPESのフェルミ面と一致するK-Sモデルの課題は、運動 量空間の端付近で観測された [こぶの形状スペクトル] の起 源であった。講演では、ARPESプロファイルに対する第一原 理計算から、K-Sモデルで「こぶの形状」の出現が説明でき ることを示した。シンポジウムのサマリーで、組織委員の Hugo Keller 教授から、「シニアが初日に素晴らしい内容の 講演をした」との賛辞を頂いた。プレナリー・セッションでは、

Czochralski 博士の栄誉を称えるEMRSの賞「Czochralski Award」が、「Quantum Cascade Lasers の発明と応用」への功績で、ハーバード大Federico Capasso教授に授与された。1988年に国際純粋応用物理学連合・半導体コミッション委員長として、半導体物理学国際会議をワルソーで開催した折、ポーランド側の役員であった若手研究者が、今やポーランドの物理学界でトップのポストに就いており、晩餐会に来られて旧交を温めることができたことは、望外の喜びであった。



写真は、十数年ぶりに会場中庭でお会いした木村忠正電 通大名誉教授 (「レアアースをドープした半導体」 シンポの招 待講演者) とのツー・ショット。

Les Houchesサマースクール

■スクール名:Les Houches サマースクール ■実施期間:2011年7月4日 (土) ~ 2011年7月29日 (水) ■報告者:石田 夏子 (東京大学/国立情報学研究所)

「講義を始める前に、このサマースクールで物理を学んだ 偉大な先輩たちを紹介しよう」。会場に映し出された集合写 真の中には、何人ものノーベル物理学賞受賞者の顔があり ました。このスタートで、参加者たちの目が輝いたのは言う までもありません。皆のモチベーションが上がり、この中で 一体誰が将来ノーベル賞へ近づくのか。そのような議論が できるほどのレベルの高いスクールでした。

本スクールは、4週間という長期に渡って、モンブランに 程近いフランスのアルプスで開催されます。講師陣を含め た参加者全員が同じコテージに寝泊まりしながら、毎年異 なる分野の下に、朝から晩まで講義とセミナーを受講するシ ステムです。

本年度は、「量子マシーン」をテーマに、量子情報の分野にて第一線で活躍されている世界中の講師陣が集まりました。キュービットの物理系として有力な候補とされている、超伝導、量子ドット、イオントラップ、冷却原子といった幅広い分野に渡り、基礎から応用まで習得することが目的です。

参加者は、□頭もしくはポスターによる研究発表の機会が任意で与えられます。 アドバイスのやりとりのみでなく、

共同研究にも繋がる貴重な機会です。また、講義の枠を超えて自発的にセミナーを何度も実施し、休憩時間もホワイトボードが真っ黒になるほど議論を交わしました。議論が煮詰まると、ペタンクやハイキングをしてリフレッシュを図りました。講師の先生方も真剣にゲームに参加されていて、楽しい時間を過ごすことができました。

最後に加筆しておきたいのは、レストランの食事の素晴らしさです。このレストランは、有名な講師陣を引き寄せるほど美味しいと評判です。素晴らしい先生方と仲間、壮大な自然、美味しい食事に囲まれながら物理に没頭できるかけ

がえのない 時間でした。



13

サイエンス アウトリーチ

ON CAMPUS

SSH大阪府天王寺高等学校での出張授業

■実施日 2011 年9月9日(金) ■対象 大阪府立天王寺高等学校理数科一年生および二年生
■授業名「量子力学の不思議」 ■報告者 中田芳史(学生チャプター・東京大学村尾研究室)

2011年9月9日、昨年に引き続き、母校である大阪府立 天王寺高校で出張授業させていただく機会を得た。自身が 高校生だった頃は、それまで見たことも聞いたこともない、よ く分からない現象を本で読むたびに「この宇宙って"広い"ん だなぁ」とドキドキしていた。その感覚を今の高校生にも味わっ てもらいたいと、今回は「量子力学の不思議」という題目のも と、日常生活の直感が全く通用しない不思議な現象を生徒 に紹介して「深遠なるこの世界」に驚いてもらうことを目標と した。

授業は波動の一般論の復習から始め、単一光子の説明を経て、単一光子を用いたヤングの二重スリットの実験を解説した。例え話や笑い話を交えながら進めることで、飽きさせることなく、量子力学の驚きの源の一つである「波動と粒子の二重性」を紹介できたと思う。「知識」を与えるだけの授業になることを防ぐため、実験結果を解説する際には必ず生徒たちをグループに分けて議論させ、「彼らの日常生活」から結果を類推してもらった。また、二重スリット実験や量子消しゴムの実験は、レーザーポインタを用いて実際に生徒たち各自で行ってもらった。議論も実験も、分からないなりに理解しよ

うと試行錯誤する生徒たちの姿が印象的であった。

「体験型」「対話型」を目指した試みが功を奏したのか、授業後、「なぜこんなことが起こるのか意味が分からない。でも、めっちゃ面白い」という感想が相次いだ。昨今、「分からない=よくない」という認識が過剰になっている気がする。しかし、「分からないけれど面白い」というのが好奇心の始まりであるはずだ。今回の授業で、生徒たちにも少しでも科学的好奇心の種を持ってもらえたのであれば、大変うれしいことである。



OFF CAMPUS

飛騨アカデミー・2011夏セミナー ーゆめのたまご塾・2011年夏セミナーに参加してー

■実施日 2011 年8月6日(土) ■対象 中高生 30名 ■講義題目日本標準時・光周波数標準を通して見る絶対と相対 ■担当 井戸哲也(情報通信研究機構)

飛騨アカデミー「夢のたまご塾」・夏セミナーは小柴先生を 名誉総長として全国から中高生の参加者を募って行われる、 スーパーカミオカンデ等神岡研究施設の見学を含む3泊4日 にわたるセミナーです。開催母体のアカデミーは普段は春慶 塗や大工、地元高校教員等をしている岐阜県飛騨市神岡町 の町民ボランティアで形成されています。今回、そのセミナー 内の一つの講義として、時刻や時間がどうやって決められてい るのか、そしてその応用としての電波時計・GPS等がどのよう に運用されているのか、さらには究極の光原子時計の最先端 ではどのような研究がなされているのかについて説明しました。 講義の最初は周波数標準の「標準」とはどういうものなのか、 そして標準がふらふらしていることに気づかずに測定しても精 度が出ないことを理解してもらい、その後、日本標準時や国際 原子時がどうやって作られているかを通して、「多数の平均が 正しいと考えること」と「1 つに依存すること」の危険性を感じて 頂きました、そして最後に光原子時計を通して秒の再定義の 可能性に言及し、その最前線にある日本発の光格子時計を 説明し、NICT-東大間の光格子時計周波数比較の結果か ら一般相対論がどんなものか、ほんの少し感じてもらいました。

講義では受講生が今後どんな道を進むとしても役立つよう、一貫して実験・議論の依って立つ基盤が何なのか、そしてその基盤は大丈夫なのか、ということを常に念頭に置くよう繰り返し強調し、震災によって多数の「基盤」が崩れたこともありその重要性を受講生が感じてくれたと思います。また、講演の後の休憩時間では意欲的な受講生から色々質問を受けて新たな視点に気づかされ、また他分野の講師の方と議論して私自身の知見も広がり大変実りある3日間でした。



15

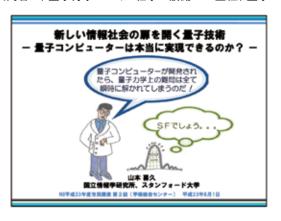
NII市民講座「量子コンピューターは本当に実現できるのか?」

■実施日 平成 23 年 8 月 1 日 (月) 18:30~19:45 **■対象** 市民講座来場者 ■講義名 量子コンピューターは本当に実現できるのか?新しい情報社会の扉を開く量子技術 ■報告者 山本喜久 (国立情報学研究所 / スタンフォード大学)

標記のタイトルの下、現在の量子コンピューター開発の問 題点を指摘し、新しいタイプの量子コンピューターの可能性を 提案・議論した。参加して頂いた300名余りの一般市民の 多くの方にとっては、少し難しい内容になってしまったことをお 詫びいたします。同時に、多くの方から有益なご質問とコメント を頂き、その中には今後の研究開発の方向性に示唆を与える 重要なものもありました。この場をお借りして、アクティブに参 加して頂いた方々に感謝申し上げます。約1時間にわたる講 演内容は、量子力学における粒子-波動の二重性、量子コ

ンピューターにおけるパラレリズム、誤り耐性アーキテクチャー の非現実性、NP完全イジング問題、正の温度で動作する量 子アニールマシーンと負の温度で動作する注入同期レーザー マシーン、適者生存を原理とするニュートラルネットワークなど 多岐にわたりました。講演スライドと講演の様子を撮影したビ デオは以下のURLから公開されています。

http://www.nii.ac.jp/index.php?action=pages_view_ main&page_id=315&lang=japanese





研究者による高校理化教員のための研修会 東京都理化教育研究会物理講演会

■実施日 2011年10月15日(土) 13:00 ~ 17:00 ■場所 都立工芸高校 ■対象 高等学校物理科担当教員(化学担当教員および中学校教員も参加可) ■講演題目「量子力学のひとつの捉え方~実証科学という考え方~」国立情報学研究所 宇都宮聖子、「量子暗号」日本大学 行方直人 ■報告者 村田律子(都立工芸高校 物理科教諭)

東京都理化教育研究会では様々な研修会を開催していま す。従来、物理分野では内部の教員による研修会が主でし たが今回初めて第一線の研究者を招いて講演会を持つこと が出来ました。

前半は宇都宮聖子先生による講演で、レーザーを使った 実験が興味を惹きました。単スリットによる回折縞を不確定性 原理 $\Delta x \cdot \Delta P > h/2$ から説明され、また二重スリットによる干 渉実験では2本のスリットから出てくる光を、向きの異なる偏 光板を通すと干渉縞が消滅し、途中に45°の偏光板を置くと 干渉縞が現れる現象を量子力学的に解説されました。話の 途中でも意見の飛び交うほど熱気に満ちていました。1つの 光子をボブ光子とアリス光子に分けたときに、干渉が起こる か否かについては考えさせられてしまいました。もう一度、勉 強をし直さないと十分に理解できないところもありましたが、大 いに刺激を受けることができました。量子力学が実験から理 論(仮説)を立て、その理論(仮説)を実験で検証していく学 問であることを強調していることが印象的で、物理学を学ぶ 姿勢を教えられました。

後半は行方直人先生による講演で、量子コンピュータの

展望と暗号解読の方法についてのお話がありました。量子力 学の実用面での応用が研究されていることに関心を持ちつ つ、昔の知識で授業をしていると時代に取り残される思いが しました。

教師は絶えず勉強と研修をし、実験と工夫をして、自分自 身が感動を持っていないと、迫力のある授業を展開すること が出来ません。この講演会を通して、また新しい感動を持ち つつ授業に向かうことが出来ることを感謝いたします。講師 の先生方ありがとうございました。



和達三樹先生を偲んで

プロジェクトアドバイザーで東京理科大学教授の和達三樹先生が、平成23年9月15日、66歳にてご逝去されました。 謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

■和達先生と

0

思

4

出

私が初めて和達先生にお会いしたのは、1998年春NTT研究所から東大物理教室に転職したときでした。それまで「物理のための数学」、「統計力学」などの著作で我が国を代表する理論物理学者として存知上げていましたが、面識はありませんでした。お目にかかると不思議と親しみがあり、チャップリンに似ている、と思ったことを憶えています。その後、居室が近かったこともあって、「昼飯に行かない。」と声をかけられて土曜日にはよく二人でラーメン屋へ行きました。研究、教室、世間のことなどを話し、ついつい長居するのが常でした。私の些細な物理の質問にも丁寧に答えていただき、愚痴もよく聞いていただきました。後に、私は不義理にも物理工学専攻へ異動しましたが、そのことをご説明に伺ったとき、大変寂しそうな顔をされたのが印象的で、こちらもひどく恐縮してしまったことを覚えています。。

和達先生は物事に無頓着そうに見えて、実は大変 慎重で周囲に気を使われる方でした。そのあらわれか、 先生は授業で必ず1回はジョークを飛ばすことでも有 名でした。理論物理の大家が、電車の中吊りから拝借 してきたようなジョークを飛ばすのは可笑しくも微笑ましく、そのためか、学生の集中力を切れさせない効用があるようでした。やはり先生の個性のなせる業だと思います。

以前、何かのインタビューで、先生は「振り返ってみれば数学と物理のいずれかの選択を迫られて物理を選択したが、40年の長い目で見ると自分としてはどちらかという区別はして来なかった。」という主旨のことを話されていました。理論物理学者の信条を伺ったような気がしました。

和達先生は、物理数学、物性基礎論、統計力学の 専門家であり、ご功績の数々を不勉強な実験家の私が 紹介するのは荷が重過ぎますので、ここでは、ただ思 い出を書き綴りました。敬愛する先生が斯くも早く他界 されことは、残念でなりません。学問に対する厳しさと 人に対する優しさを併せ持った稀有な先生のご冥福を 心よりお祈り申し上げます。

(東京大学 樽茶 清悟)

ŧΠ

樹

先

生

 \mathcal{O}

研

和達三樹先生の訃報に接し、たいへん驚くとともに深い悲しみに打たれています。和達先生はいつも物理をはじめいろいろな事柄の極めて本質的な点に関して、深い洞察を感じさせるお考えを独特のひょうひょうとした口調で示されていました。

和達三樹先生は、非線形波動やソリトン物理学、そ れから発展した数理物理学、統計力学の分野で世界 的な指導な役割を果たしてこられました。先生は古典 ソリトンにおける多ソリトン解の発見をはじめとして、そ の分野に多くの先駆的な業績を達成し、ソリトンの逆 散乱法に大きく貢献されました。逆散乱法は厳密解法 の研究の中で量子逆散乱法と呼ばれる一般的な理論 形式に拡張され、数理物理学上の大きなテーマとなっ ています。そこでも中心的な役割を果たされ、量子逆 散乱法を応用して、無限に多く厳密解を与える統計力 学的模型(可解模型)を導く系統的な方法を開拓され ました。それらの可解模型の臨界指数は、同様に注目 を集めていた共形場理論が予言する臨界指数と一致 し、共形場理論が対象とする場が実在することを示唆 し、両者相まって大きな展開につながりました。また、 結び目問題に対しても、結び目不変量と呼ばれる量を 通して可解模型との関係を明らかにし、結び目を系統 的に分類することに成功されました。さらに、最近のレー

ザー冷却ボース・アインシュタイン凝縮体の運動に関して非線形波動の観点から非線形孤立波の発見など重要な寄与をされています。また、日本物理学長として、アインシュタインの特殊相対性理論など三つの論文を記念する世界物理年で、数々の企画に取り組まれました。

これらの業績に対し、日本IBM賞、仁科記念賞を受賞、さらに紫綬褒章を受章されています。理論物理学のみならず、我が国の学術に関する和達先生の高いご見識がますます必要とされる中でのご逝去は、悔やんでも悔やみきれないものがありますが、先生のご冥福を心からお祈り申し上げます。

(東京大学 宮下 精二)



私

た

ちのアドバ

1

ザ

和

)三樹

先

沖縄の先のとがった麦わら帽子をかぶった和達先生は、どこから見ても"地元の人"でした。沖縄の自然に溶け込んだ和達先生の姿は、いつでも量子情報沖縄サマースクールの参加学生の輪の中心に見つけだすことができました。延べ250名余りにのぼるサマースクールの卒業生1人1人の心の中に和達先生の記憶が深く刻み込まれたことに疑いはありません。

沖縄サマースクールは双方向の教育プログラムです。講師である研究者にとっては、それは自分の学問の深さ、浅さが学生達の厳しい目にさらされる評価の場であります。参加学生達にとっても、それは自分の研究が面白いものか、つまらないものかの厳しい評価を講師や参加学生達から受ける場であります。和達



先生は、沖縄サマースクールが楽しい場であり、同時に厳しい場でもあることに大きく貢献されました。和達先生の質問は常に基礎に立ち返ることの大切さ、本質をついた研究を行うことの重要さ、面白いかつまらないかを研究の絶対的な価値基準に置くべきこと、を私達に教えるものでした。

和達先生には、JSTのCREST量子情報処理プロジェクト、内閣府のFIRST量子情報処理プロジェクトの領域アドバイザーとして10年余りにわたり私達の分野をサポートして頂きました。和達先生の卓越した見識を惜しみつつ、先生のご冥福を心からお祈り申し上げます。

(国立情報学研究所/スタンフォード大学 山本 喜久)



「おたく、最近どうですか?」

大学キャンパスや学会で或は沖縄のビーチで、そう話 しかけられた事のある人は、学生や研究者を問わず多 いはずである。それは東大物理在籍時、私のアドバイザー の人柄を体現するキャッチフレーズだった。

非公式に行われてきた世論調査では、若い学生達はその気さくさに親しみを覚え、経験を重ねたシニアの方々になるとその存在感に畏敬の念を覚えたようである。このように印象の相転移が起こる教官はそうはおらず、量子情報の業界では私の知る範囲ではカルテクのプレスキル教授が思い浮かぶ位である。いずれにしろ、名物教授のひとつの証かもしれない。思うにそこは、和達先生にとっては「なにしろわたくしは、物理学者のホンカクハですからね。」と、真顔でお気に入りの冗談を言うチャンスだった。先生ご自身の退官講義の題目に見えるように、物理の研究者としての本格派と教育者として後進のため教科書を執筆する本書く派に足るように、努められた。

言うまでもなく、研究室での指導もこのフレーズで始まる。研究室に入りたての修士の学生は「ここの計算に困っていて…」などと応えたものだ。しかし、博士号の習得に活路を見出す頃には「先生の方こそモーニング娘。の最

近の動向をちゃんと追えていますか?」などと聞き返す余裕が出てこなければならなかった。思うに良きアドバイザーの本質は「気にかける」ことにあると思う。研究(つまり物理)の面がとりわけ重視されがちだが、奨学金のための研究提案の添削や、学費・生活費の足しになるよう助成への応募に際しての細かな推薦書の執筆など、雑用とも見なされかねない学生の世話にも時間を決して惜しまれなかった事に感謝している。

私が研究テーマと選んだ量子エンタングルメントは先生にとっても未知の分野だった。「おもしろそうなので一緒に勉強しましょう。」と快く仰って、学生はうまく乗せられただけでなくご自身も乗ってきた。最新の膨大なプレプリントに飛びつかず、1935年のEPRの論文などマイルストーンとなった古典的文献から読み進めた。難解な箇所に当たる度に「どうしてこう混乱した物言いなのでしょうかね?」とよく述べられた。物理学は過去の見通しの悪さを徐々に解きほぐしていった歴史という認識に立った研究スタイルと言えよう。そうして、過去と現在、そして未来の物理学者達と対話するのを楽しんでおられたのは、物理学者として冥利に尽きると信じている。

(ペリメータ理論物理学研究所(カナダ)三宅 章雅)

産

業

技

術

総

合

研

究

所

洪

研

究

室

産業技術総合研究所計測標準 研究部門時間周波数科波長標準 研究室は、洪科長(室長兼任)の他、 研究者6名、共同研究者1名、海 外研究者1名で構成されています (図1)。当研究室では、「光格子時 計」、「光コム」及び「周波数安定化 レーザー」の3つを柱として研究を展 開しています。これらの研究は有機 的につながっており、学術的な成果 を生み出すと同時に産業界に役立 つ技術の提供を行っています。

2009年にイッテルビウム (171Yb) 原子を用い た光格子時計の開発に世界で初めて成功し、 魔法波長及び遷移周波数を測定しました(Appl. Phys. Express, 2, 072501, 2009) o 171Yb 光格子時計は、先行するストロンチウム(87Sr) 光格子時計と比べて、原子核スピンが1/2で準 位構造がシンプルで、室温での黒体輻射による 周波数シフトが Sr に比べて小さいという特長を もっています。図2は、レーザー冷却されたYb原 子から発せられた蛍光を観測しています。 図3に 決定した魔法波長を示します。光格子レーザー 波長を759.3nm付近で変化させながら、光シフ トを光強度の関数として測定しました。光シフトが ゼロとなる光格子レーザー波長が魔法波長であ り、今回の測定で759.353 (3) nmであること がわかりました。また、測定された171Yb光格子 時計の絶対周波数は、518 295 836 590 864 (28) Hzです。

今回の測定値は、2009年6月パリで開催さ れたメートル条約関連会議において報告され、 国際度量衡委員会が勧告する標準周波数の1 つとして採択されました。その根拠となった我々の 論文は、その応用物理学の進歩と向上に対する 貢献が認められ、第32回(2010年度)応用物 理学会論文賞を受賞しています。

Yb光格子時計を評価するためには、もう一台 の光格子時計が必要となります。そのために、 我々は独自のSr-Ybデュアル光格子時計の開 発を開始しました(Opt. Express, 19, 2046, 2011)。



図1 研究室の集合写真(Yb光格子時計の成功を祝って)。



図2 第2段磁気光学トラップ中のYb原子からの蛍光

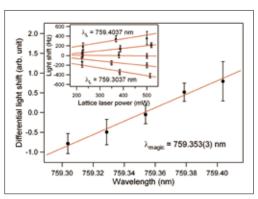


図3 Yb光格子時計の魔法波長の決定

当研究室では、実用面などの理由からモード 同期ファイバーレーザーによる光コムに早くから 注目し、研究を行ってきました。最近では、高速 制御可能なファイバー型光コムを開発し、相対 線幅が極めて狭い光コムを実現しています(Opt. Express, 18, 1667, 2010)。このほかにも、 波長標準として633 nmヨウ素安定化He-Ne レーザー、532 nmヨウ素安定化Nd:YAGレー ザー及び1.5µmアセチレン安定化レーザーの開 発を行ってきました。また、これらのレーザーに共 通の分光や制御の技術も開発してきました。

[洪 鋒雷、安田正美、保坂一元、稲場 肇、赤松大輔]

情 報 诵 信 研 究 機 構 電 磁 波 計 測 研 究 所 時 空 標 準 研 究

字

情報通信研究機構 (NICT) では、日本標準時と周波数標準の発生・維持・供給を業務として実施しており、時空標準研究室では、これらの着実な実施と高度化のための研究開発を行っています。同研究室には、日本標準時、次世代時刻周波数標準、次世代時空計測、衛星時空計測の4つのグループがあり、他の業務と併任の人も含めて33名の研究者と6名の技術スタッフが所属しています。FIRSTへの参加代表者の小山は、現在この研究室の所属から離れて国際推進部門国際連携推進室に所属していますが、そのほか時空標準研究室の14名がチームに参加して、計15名のメンバーでFIRSTの研究課題に取り組んでいます。

同研究室のうち、日本標準時グループでは、 東京都小金井市の本部などに設置した商用セシ ウム原子時計と水素メーザー周波数標準器から 日本標準時を生成し、国際原子時の決定に世 界第2位となる10%以上の寄与率をもって参画 すると同時に、Cs原子泉型標準器によって国際 原子時の較正に寄与しています。ここで生成され た日本標準時は、長波の標準電波やネットワーク 時刻サーバなどで広く国内のユーザーに利用され ています。そして、次世代時刻周波数標準グルー プでは、より高度な時間周波数標準の実現を目 指して光周波数標準の研究開発に取り組んでい ます。また、次世代時空計測グループでは、光ファ イバを用いた標準周波数信号の安定な伝送と精 密比較の研究に取り組み、研究開発テストベッド ネットワークとして整備された光ファイバを用いた 実験も進めてきていました。こういった研究開発 の一つの集大成として、2011年1月から2月に かけて、東京大学のチームと合同で本郷キャンパ スにある光格子時計とNICT小金井本部にある

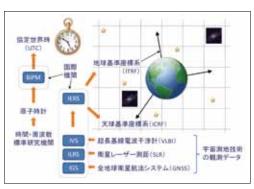


図1 時間周波数標準と空間標準の関係

光格子時計の基準周波数を精密に比較する実験を行い、約56mの高度差による一般相対論的重力シフトを検出するとともに、補正後の周波数が16桁の不確かさで一致することを確認しました。

一方、NICTの研究拠点の一つ、鹿島宇宙 技術センターでは、かつてはじめてプレートテク トニクスによる太平洋プレートの動きを検出した 超長基線電波干渉計(Very Long Baseline Interferometry, VLBI) の技術開発を続けてきて います。VLBIによって得られた高精度な測地観 測データは、国際地球基準座標系の構築に活 用され、日本の測地系を世界測地系へと移行す るときの基準点として役立てられるなど、空間標 準の高精度化に寄与しています。このように、時 間周波数標準と空間標準の研究開発が一つの 研究機関で実施されていることは世界的にもまれ ですが、二つの標準が高精度化して相対論的効 果の考慮が必要となり互いに不可分な関係にな りつつある現在、時空標準として一体的に研究 開発をすることが今後ますます重要になってくるも のと考えています。

砂の定義はさまざまな科学計測に影響を与える 重要なものであり、単に一つの研究機関での優れた結果が示されるだけでは不十分で、複数の研究機関で同等の技術を実現でき、さらにその結果が一致していることを確かめることが重要です。 NICTのFIRSTチームでは、比較的近距離に対しては光ファイバによる高安定な信号伝送を行い、国外の機関における光周波数標準器との比較では人工衛星を介した比較法とVLBIによる比較法とを併用して、多くの研究機関との間で高精度な周波数比較を実現することを目指しています。 [小山泰弘]



図2 John Hall博士が訪問されたときの記念写真(2009年3月)

エッセイ

Essay

口

F

ツ

プで予想されなか

2

た展

2004年以来、浜松ホトニクスで量子カスケー ドレーザの研究に携わってきたが、その間に経験 した、この分野で起こった「ロードマップで予想出 来なかった展開」について述べる。研究にとりか かってすぐに、量子カスケードレーザでは、発光上 位準位の電子に対する高速の非発光緩和(緩和 時間、ピコ秒くく自然放出寿命、10 ナノ秒) の存 在のもとでレーザ発振が生じており、しかも、室温 で長寿命の連続動作が可能であることに気づい た。量子カスケードレーザの最初のレーザ発振が 報告された1994年以前の半導体レーザ関連の ロードマップで、このような速い非発光緩和を内包 した実用的なレーザの存在は予測されていたで しょうか。いったいどのような形でレーザ発振にい たるのか知りたくなって(2005年頃)、非発光緩和 を含んだレート方程式を解いてみたところ、量子カ スケードレーザの(真性)発振線幅が、通常の半 導体レーザに比べて、3桁も狭くなり、しかも、狭線 幅の起源として、高速の非発光緩和が重要な役割 を担っていることがわかった。最近の我々とイタリ アの研究グループの共同研究の結果として、波長 ~4.3 µmの室温動作、DFB量子カスケードレー ザで、(驚くべきことに) 260Hzという狭い真性線 幅が実験的に確認された。

話変わって、2007年の秋、量子カスケードレーザ分野の国際的なリーダーの一人と将来の可能性を議論する機会をもった。その折、彼は、1994年以来10年以上にわたって、さまざまな量子閉じ込め構造が提案され、レーザの性能向上が計られてきたので、「量子構造の設計によるこれ以上の" Evolutional" な展開は望めない」との見解をのべた。しかし、この予測は当を得ていなかった(すくなくとも、筆者はそう思う)。例えば、最近、当社の藤

田等は、互いに強く結合させられた二本の発光上準 位によるDual-upper states (DAU) 構造でもって、 室温以上 (100℃) でもCW動作が可能で、動作電 圧の変化に対して安定で、かつ、驚くべき相対利得 帯域 (帯域幅~600 1/cm; $\Delta\lambda/\lambda_0$ ~40%) を持っ た中赤外量子カスケードレーザを実現した。その 背後にある重要なポイントは、この種の構造では、 量子準位間の強い結合 (Anti-crossing) の結果 として、二本の上準位 (サブバンド) の波動関数が 互いに空間的にほぼ完全に重なっており、しかも、 波動関数の相似性は、バイアス電界の変化に対し て強固に保たれている点にある。このため、ヘテ ロ界面の単原子層程度の凹凸および合金 (InGaAs/InAlAs) のディスオーダーによるサブ・ バンド間の弾性散乱レートが極めて高く(≤1013 1/s、即ち、T3-時間~100fs以下)、結果として、そ の広帯域利得スペクトルは、(二本の上準位の存在 にもかかわらず、誘導放出レート(<10¹² 1/s) に対 して、有意な利得のスペクトル・ホールバーニング を生じないという意味で)スペクトル上でほぼ均一 とみなされうる。筆者は、このような広い相対利得帯 域と利得のスペクトル上の均一性を兼ね備えた レーザの存在を知らない。この意味で、この結果は、 十分に"Evolutional" なものであると思っている。

筆者自身は、結果に対しての素直な驚きと、その 背後にあるものを理解しようとする精神をもって(強 い驚きは理解しようとするインセンテイブになる)、 予測がはずれる(無論、良い方に)ことを期待しな がら、今後も研究活動を楽しみたいと思っておりま す。量子情報処理プロジェクトの皆さんも同様の 思いを持って、日々の研究活動に当たっておられ ることと思いますが。

山西 正道(浜松ホトニクス)

No.6 December 2011

最先端研究開発支援プログラム「量子情報処理プロジェクト」・国立情報学研究所量子情報国際研究センター ニュースレター

量子ニュース

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

情報学研究所 http://www.nii.ac.jp/

発行:大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 総務部 研究促進課 最先端研究開発支援室 http://www.first-quantum.net/ 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 量子情報国際研究センター

〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2丁目1番2号 学術総合センター

本紙についてのお問い合わせ:

最先端研究開発支援室 TEL: 03-4212-2117 FAX: 03-4212-2817 e-mail: first_jimu@nii.ac.jp

量子情報国際研究センター TEL: 03-4212-2506 FAX: 03-4212-2641