九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

Rainbow Stars : 二色誘導ラマン効果

Imasaka, Totaro
School of Engineering, Kyushu University

https://hdl.handle.net/2324/4060745

出版情報：ぶんせき. 1992 (9), pp.106-110, 1992. 日本分析化学会
バージョン：
権利関係：

ぶんせき

別　刷

No. 9　　1992

Rainbow Stars

——二色誘導ラマン効果——

今坂　藤太郎

社団法人 日本分析化学会

東京都品川区西五反田1丁目26番2号　五反田サンハイツ304号

Rainbow Stars

── 二色誘導ラマン効果 ──

今坂　藤太郎

Prologue：ある夏の日の思い出

1986年の夏のある日，外を見上げると雨上がりのあとに美しく虹(にじ)がかかっていた。強い日差しによってその輝きはぐんぐん増し，その外側にもう一つの虹がかかった。“Double Rainbow！”

研究室のすべての人たちが窓外の虹を見ていた。やがて虹は薄れ，一つまた一つと消えた。こんな美しい虹はもう見ることはないだろう。皆の顔がやや寂しく見えた。

Discovery：女神はほほ笑えんでも見える人にしか見えない

1987年4月19日

「先生ちょっと変なので実験のほう見てもらえませんか」と修士2年生の川崎君。

「うーん（今忙しいのになあ，まあいいか）」

「先生！ 今日は誘導ラマン効果を用いて色素レーザーの波長を変換しているのですが[1)2)]，プリズムを通すと通常のラマン光の間に時々ちらちらとスポットが出てくるんです。どうしてでしょうか」

「川崎君。レーザー光をプリズムなどの光学素子に通した場合には，その表面で必ず5％程度の反射が起こるんだ。これは光学実験では常識なのでよく覚えておきなさい」

「先生！ もっとよく見てください。反射でしたら色は変わりませんが，時々出る光は明らかにレーザー光や誘導ラマン光とは色が違いますよ」

「うーん（いつも色に関しては分光器より確かで20 nmの差は目で判断できると自慢していた私は）確かに川崎君の言うとおりだ。これは通常の振動ラマン光ではなく，回転ラマン光か何かに違いない。しかしこのような実験は多くの研究者によりなされているので，よく観測されている現象に違いない。他の研究者の論文をよく読んでおきなさい」

質問をかわした私は，やれやれと思いながら論文書きに戻るのでした・・。そしてめんどうくさがりやの川崎君も，ああー何だと思いそのままにしていました・・。

Fantasy：そして女神は再びほほ笑んだ

1987年12月28日

「先生！ ちょっと実験室に来てください。すごいですよ」

「何だ，今は忙しいんだけど・・」

「とにかく来て見てください。今日はこの前ちらちらしか出ていなかったスポットがはっきり見えるんです」

「何だって？（プリズムを通ったレーザー光が白い壁に当たっているのを見ながら）うーん，これはすごい。（写真のように虹色にそして星のように輝いているレーザースポットを見ながら）どうして今日はこんなに強いんだ」

「分かりません。今日は修士論文に載せるきれいなデータをとるため，エキシマーレーザーのガスを新しく交換したんです。ですからいま出力は目いっぱい出ています。そしてレーザー色素も新しいのに交換しました」

「（うーん，それだけで数万円はかかっているぞと考えながら）するとレーザーの出力が大きいのでこの現象が明りょうに現れたんだな」

これはなんらかの非線形光学効果であるらしいと考えた私は，この現象を更に強くしたいと思い，エキシマーレーザーの高電圧のメーターを見ました。もう少し電圧を上げてレーザーの出力を少しでも高くしたいと考えた

“Rainbow Stars” Two-Color Stimulated Raman Effect.

Totaro IMASAKA　九州大学工学部応用物質化学科

写真1　Rainbow Starsの発振スペクトル

のです。しかしメーターの針はこの領域まで上げてはいけないといわれている赤の領域に既に入っていました。これでは100万円もするサイラトロンにダメージが起こると思いましたが，さすがにそのとき電圧を下げることはできませんでした（・・やはりこのときのためかサイラトロンの調子が最近あまり良くないようです・・）。

「よし，ではレーザーの波長をゲインが最も高いところに合わせよう。そうすればわずかでも出力が上がって，これらの輝いているスポットが更に強くなるはずだ」

「それが違うんです。色素レーザーの波長を最大の出力が得られる波長より6～7nm離したときに，これらのスポットが最も強くなるんです」

「そんなばかな。これは非線形光学効果の一種に違いない。今日はレーザー光の強度を最大にしているからこそ，こんなにスポットが強く出ているんだ」

川崎君は黙って波長をゲインの中心に合わせました。

「ほら，スポットは全く出てこなくなったでしょう」

「そんなばかな。ほんとに中心に合わせているのか」

川崎君はパワーメーターを見るように目で合図をしました。確かにさっきより針の振れが大きくなっています。

「そんなばかな。このメーターはおかしいんじゃないか」

川崎君は黙ったままレーザーの光路に紙を出し入れして，メーターがレーザー光に感じていることを示しました。

「そんなばかな。こんなことはあるはずがない。この現象はレーザー出力をぎりぎりまで大きくしなければ観測できない非線形光学効果であるのに，レーザー出力が少し小さいほうがかえって出やすいなんて。これは矛盾だ」

「でも先生！ 見てください。レーザーの波長を動かしますよ。全部の色が変わっていきます。とてもおもしろいですよ」

「うーん，すごいな。あっ，波長を動かし過ぎるときれいに輝いているスポットがなくなってしまう。もうちょっと波長を戻してくれ。あっ，すごいぞ。振動ラマン光の間にたくさんスポットが出てきて，その間が全部つながったぞ。あっ，虹色が全部出ている！」

「先生！ こんどは短波長側にレーザー波長を動かしてみます。あっ，すごいですね。黄色のほうは光が強すぎて目がおかしいです。意外と紫外のほうも出ているかも知れませんね。ちょっとこの紙をスクリーン代わりに持っていてください。あっ，すごい。紫外のほうもずっと出ている！」

・・こうして二人は夜が更けていくのも忘れ夢中になって遊んでいるのでした・・。

Inspiration：ひらめきは一瞬のうちに起こる

いつものように歩きながら考えているとき，あっそうかと思いつき興奮しました。

「レーザーの波長を発振が最も強く起こるところから6～7nm離したときに虹色のレーザーが発生するの

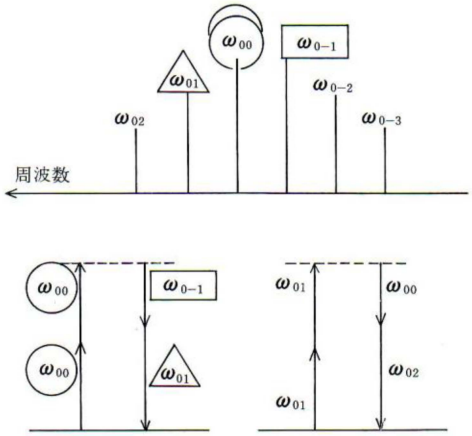

図1　四波混合の機構

は，ASE（自然放出増幅光）の影響に違いない。ゲインが最も大きい波長では ASE がどうしても出てしまうが，これと発振光が影響し合って虹色のレーザー光が出るに違いない。又，その間隔が所定の制限を満たしたときのみ発生するんだ。それはラマン媒質として用いている水素の回転エネルギーなど媒質に固有の性質に違いない」

早速研究室に戻り，川崎君に調べてもらいました。

「先生！ すべての発振線の間隔は，水素の回転エネルギーの $J=1$ から $J=3$ の遷移にぴったり合っています（通常のオルト水素は J が偶数のレベルは存在しないのです）。そして発振光と ASE のエネルギー間隔が回転エネルギー準位の間隔に近いときにこの虹色の光が出るようです」

「では，なぜ回転ラマン光が発生するのに一波長発振光ではだめで，二波長発振光が必要なんだろう」

この疑問については，図1に示すようにこの現象が四波混合過程で説明できることにより解決しました。すなわち二光子により2段階励起後，回転エネルギー分だけ周波数が異なる第三のシード光（ASE）導入によって，第四の誘導放出光が発生します。更にカスケード過程によって多数の波長でレーザー発振が起こることが分かりました。この過程において ASE の弱い光自身も増幅され，強く鋭いレーザー発振線となることも分かりました。単に一波長発振のレーザー光を導入したときには，しきい値が高く回転ラマン光が生じなかったのですが，この四波混合は効率がよいため多数の発振線が得られたのでした。

このように Rainbow Stars は偶然 ASE が強かったため発見されました。これは本来 ASE を除くためにラムダフィジックス社が開発した「ラムダピュアーシステム」が，かえって比較的単色な ASE を出していたことに起因していました。もしこれがもっと単色でしたら，その波長間隔が偶然に水素の回転エネルギー間隔に一致していることはなかったでしょう。又，ある程度単色でなければ，しきい値が高くこのような現象を目に見えるほど強くすることはできなかったと思われます。更に ASE は紫外域では強く，特に使用していた BBQ 色素レーザーのようにゲインが高い物質の場合ではより顕著になります。従ってこのような幾つかの条件を偶然満たしていたため，この虹のように輝く光が観測されたのでした[3)−5)]。

Naming：現象と用語

発見したレーザー光線はスクリーンに当てると白色に見えます。これはこのレーザー光が数多くの色から構成されているためです。このレーザー光線をプリズムに通しますと，カラフルな虹の七色が現れます。それぞれの発振線は単色ですので，太陽光線のように連続的に色が変わっていくのではなく，輝く多数のスポットとして観測されます。又，レーザー光線特有の優れた可干渉性のため，星のようにきらきらと輝きます。そこでこの現象を Rainbow Stars と命名しました。複数形にしたのは多数のスポットが観測されるためです。

Originality：コールダーの「科学者の評価」

この Rainbow Stars は果たして新しい現象でしょうか。答えは Yes！ であり，かつ No！ でもあります。私は Rainbow Stars が従来省みられていなかった多色レーザーの分野に新しい領域を開いたと考えています。現在まで三原色を出すことを目的として，He-Cd レーザーや色素レーザーを用いる方法が研究されていました。しかし可視域において数多くの発振線からなるレーザーを開発しようという試みは全くありませんでした。むしろ従来の研究では特定の発振線への変換効率を上げるため，他の発振線の発生をできるだけ抑制する方向へ研究が進んでいました。Rainbow Stars を用いれば全可視域において七色はもちろん千色の光を同時に出すことも困難ではありません。レーザーの応用分野に新しい1ページをひらいたのです。

しかし Rainbow Stars を批判的にとらえる人もいます。すなわち「Rainbow Stars は四波混合の一種に過ぎず，これはよく知られた現象である」との意見です。これは必ずしも間違いではありません。しかしこれに対して私はこう答えています。すなわち「新しい現象は従来の科学の言葉で説明できなければ，それは手品に過ぎな

い」と。コールダーの新発見に対する「科学者の評価」の変化を以下に引用してみましょう。

1．その説は全くばかげたものでお話しにならない
2．おもしろいけど間違っている
3．新しいところがあるが重要ではない
4．重要かもしれないが創造的ではない
5．驚くことに私がいつも考えていたことにそっくりだ

Rainbow Stars が新しい現象であるか否かについては議論が分かれるところですが，我々はこれに打ち勝つ勇気を失ってはならないと考えています。しかし一方では，Rainbow Stars のオリジナリティーをもっと狭くとらえ直すことも，その本質を見極めるために大切であると思っています。すなわち数本の回転誘導ラマン光は既に強力なレーザーを用いて発生されていました。四波混合もレーザーの波長変換に既に利用されていたことは見逃すべきではありません。従って「Rainbow Stars は，従来用いられていた四波混合の手法に従って二波長発振レーザー光を水素に通し，高次の回転ラマン光まで効率よく発生したに過ぎない」と言い直すこともできます。しかし現在私たちは，Rainbow Stars が大きな発見かあるいは従来の現象の一種であるかの議論は，余り意味がないように思っています。すなわちすべての発見は従来の研究の礎の上にあり，無から有は生まれないからです。すなわちそれが偉大な発見か否かは，その発見が私たちの思想，生活，科学，技術にどれくらいのインパクトを与えるかによるべきであるというのが筆者の考えです。

Impact：レーザーショーと核融合

Rainbow Stars 現象を用いれば極めて多くの色からなる単色なレーザー光を発生させることができます。ではこの多色光はどのような分野に利用できるでしょうか。まず考えられるのは分光分析用光源への応用です[6)7)]。しかし現在まで多色でしかも単色なレーザーは存在しなかったのですから，それ以外にも多彩な応用が期待できると思います。例えばレーザーショーなどにおける光源としても私たちの生活を楽しませてくれるに違いありません。又，多色レーザーはホールバーニングを用いる多重情報記録あるいは光ファイバーを利用した多重情報伝送など，先端科学技術の分野においても今後重要になると考えています。しかし最近ではこの多色レーザーは超短パルス光を発生させるのに極めて有効であると考え，研究を進めています[8)9)]。現在超短パルス光の発生には，モードロック色素レーザーと光圧縮法が用いられていますが，6 fs の記録はここ5年間更新されていません。これは発振波長域が広いレーザーが少なく，又モードロックや光圧縮のため固体素子を通したときに生じる波長分散の影響を精密に補償できないことに起因しています。Rainbow Stars は発振周波数域に全く制限がないうえ，波長分散が無視できる水素を媒体としています。従って前人未到の超短パルスを発生させることも夢ではありません。もしこのような超短パルス発生方式が確立すれば，従来の1 ns のレーザーパルスから1 fs のパルスへ一挙に百万倍も光圧縮することが可能です。このため高尖頭出力が必要な非線形光学効果の研究はもちろん，レーザー核融合など私たちの未来を支える基盤技術に大きな影響を与えると考えています。

Epilogue：謙虚な気持ちを忘れるべからず

「リーン（電話のベルの音）」

「もしもし工業分析の今坂ですけど」

「もしもし KBC の○○ですが，この度レインボースターズという現象を発見されたそうですね。それについて少し教えていただきたいんですが・・」

「発見というほどではないんですが，こちらではそのように言って PR しております」

「なるほど，それでどのような現象なんでしょうか。簡単にご説明いただけますか」

「（うーん，これはよほど素人に分かるように話さないといけないぞ。どうも相手は文系の出身で「誘導ラマン」や「四波混合」はもとより「色素レーザー」や「分光測定」のような用語も理解できるかどうかあやしいもんだぞと思いながら）えー，簡単に言いますとレーザー光を水素に集光していたとき，偶然レーザーが二波長で発振していましたので・・」

「もしもし，二波長といいますと・・」

「（あー，これでもわからないかもしれないな）えー。色が二つあったんです。それでいろんな色が次々出てくるんです（こんな説明では何のことやら自分でも分からなくなってきた。あっそうか。これだったら素人でも分かるに違いない）。KBC と言われますとテレビ局の方ですね。テレビは三原色の重ね合わせで色を出しますが，レインボースターズは同時にいろんな光を出せ，それらがすべて単色な光なんです」

「単色な光と言いますと？」

「えー（どう言ったらいいかな）つまりテレビでは再現できないようなきれいな色が出るんです（あっ，しまった！！！）」

「ああなるほど。今日はおもしろい話をどうもありがとうございました。又，こちらから連絡させていただく

かもしれませんが，よろしくお願いします（ガチャ）」

せっかくテレビ局の人がレインボースターズを放映してあげようと思っていたのに，テレビでは再現できないと言ってがっかりしている私に，

「ああ，先生その人はKBCの放送部長か何かでかなり偉い人みたいですよ」と学生の追い打ち。

・・それから二度とKBCから電話はかかってきませんでした・・。

文　献

1）S. Kawasaki, T. Imasaka, N. Ishibashi：*Anal. Chem.*, **59**, 523 (1987).

2）S. Kawasaki, T. Imasaka, N. Ishibashi：*Opt. Commun.*, **66**, 285 (1988).

3）T. Imasaka, S. Kawasaki, N. Ishibashi：*Appl. Phys.* B, **49**, 389 (1989).

4）S. Kawasaki, T. Imasaka, N. Ishibashi：*Appl. Phys.* B, **52**, 211 (1991).

5）S. Kawasaki, T. Imasaka, N. Ishibashi：*J. Opt. Soc. Amer.* B, **8**, 1461 (1991).

6）T. Imasaka, T. Higashijima, S. Kawasaki, N. Ishibashi：*Appl. Opt.*, **29**, 1727 (1990).

7）T. Higashijima, S. Yoshikawa, S. Kawasaki, T. Imasaka, N. Ishibashi：*Anal. Sci.*, **6**, 765 (1990).

8）S. Yoshikawa, S. Kawasaki, T. Imasaka, N. Ishibashi：*Jpn. J. Appl. Phys. Lett.*, **30**, L283 (1991).

9）S. Yoshikawa, S. Kawasaki, T. Imasaka, N. Ishibashi：Proceeding of ICAS Kyushu Post Conference, September 2, 1991.

追記　本稿は1991年9月27日に開催された日本分析化学会北海道支部主催の緑陰セミナーにおける予稿集並びに講演原稿に加筆・訂正をしたものである。