

# 野辺山45 m電波望遠鏡に搭載された 最新鋭受信機eQの現状とサイエンス



中村文隆

〈国立天文台科学研究部 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: fumitaka.nakamura@nao.ac.jp

私たちは日本と台湾の協同で新電波受信機eQを製作した。コロナ禍のなか、当初の計画よりも2年以上遅れたが、2021年11月25日に野辺山45 m電波望遠鏡への搭載を無事に終えた。本記事では搭載されたeQ受信機の性能や初期科学成果に向けた予備観測について紹介する。2021-2022年シーズンに行われた立ち上げ観測の結果を見ると、現在稼働中の同様の帯域をカバーする受信機システムと比べても、eQは帯域、感度とも間違いなく世界一である。野辺山45 m鏡の分光計システムを使うと、3.81 kHz分解能の観測が可能となり、30-50 GHzで速度分解能0.025-0.04 km/sを達成できる。典型的な速度幅が0.2-0.5 km/s程度の近傍星形成領域の高密度領域の速度構造を分解するには、この帯域では、この速度分解能が必要である。つまりeQは近傍星形成領域の速度構造の観測が精度よく実行できる唯一の受信機システムと言ってもよい。高感度という性能を活かし、高赤方偏移銀河の微弱な一酸化炭素CO ( $J=1-0$ ) 輝線の検出にも成功している。

## 1. 超広帯域・高感度eQ受信機計画

eQ受信機は、アルマ望遠鏡(以下ALMA) Band-1受信機の開発元である台湾中央研究院天文天体物理研究所(ASIAA)と国立天文台・大阪府立大学(現大阪公立大学)が協同して開発した最新鋭の電波受信機である[1]。特徴は3つある。1つ目は、帯域が30-50 GHzとALMA Band-1 [2] (33-50 GHz)よりも広く、一酸化硫黄SOの最もエネルギーの低い $J_N=1_0-0_1$ の回転遷移(静止周波数30.001547 GHz)を観測できること、2つ目はLow Noise Factory社製のHEMT増幅器と冷却光学系の採用により、高感度を達成したことである。3つ目は、ALMA Band-1と同じ両直線偏波の受信機であるが、サイエンスの目玉であるゼーマン分裂の検出のための偏波校正システムを予め組み込んだ設計になっている点である。eQは、分子輝線CCS ( $J_N=4_3-3_2$ ), CCS ( $J_N=3_2-2_1$ ),

SO ( $J_N=1_0-0_1$ )の3輝線を両直線偏波で同時に検出できる世界唯一の受信機である。これらの分子は不対電子を持つため、その影響で磁場による回転遷移の分裂が大きく起こる。その分裂幅を検出することで微弱な星間空間の磁場強度をゼーマン観測から測定できる[3]。eQの名前の由来は、extended Q-bandである。

著者らは過去に42-45 GHzという狭帯域をカバーする野辺山45 m鏡用に開発したZ45受信機[4, 5]を使ってCCS ( $J_N=4_3-3_2$ )ゼーマン観測を実行した。Z45ではoff点スムージングという手法[6](標準的なon-off観測よりも観測時間を1/3程度に短縮できる手法)を用いて、おうし座分子雲のTMC-1高密度領域にあるシアノポリンピーク(炭素鎖分子からの輝線が最も強い位置)での磁場強度の測定を実行した[7]。その際、100マイクロガウス程度の磁場の検出に積分総時間で30時間もの観測時間を要した。偏波校正のための

データ取得も必要であったので、総観測時間は40-50時間ほどであった。当初の予想を上回る観測時間を要し、Z45の観測のみで星形成における磁場の役割に定量的な制限を与えるにはかなりの困難さがあった。この点を解決するには、Z45より高感度の受信機が必要であることは明白である。当時開発が進んでいたALMA Band-1受信機の開発元であるASIAAのChau Ching Chiong（章朝盛）氏と協議を重ね、新受信機eQの開発に至った。Chiong氏は博士論文でEffelsberg 100 m鏡を用いたゼーマン観測を実行した経験もあり、その手の観測の重要性については十分に理解していた。

## 2. 野辺山移設

2021年4月号天文月報 [1] でChiong氏が紹介したように、2年以上前に受信機はほぼ完成していた。2019年1月に日本チームが台湾に出向き、野辺山45 m鏡への設置の詳細について密に協議したが、その直後にコロナ問題が浮上した。そのため、台湾チームが現地参加しての設置が難しくなり、設置できずに2年が過ぎた。このままでは無期限延期あるいは計画自体が中止になる恐れがあると判断し、日本チームのみでの設置が可能か詳細に検討し、2021年10月頃に野辺山観測所に改定案を提示し、新たな設置計画が走り出した。野辺山に外国製の受信機が搭載され、サイエンス遂行可能なデータを取得するのは初めてのことで、受信機自体も5トンを超える大型の受信機であったので、設置計画は慎重に再検討された。その後は、何とか野辺山観測所最後の無料共同利用観測が始まる（12月初旬）前に設置することを目標にした。そのため輸出入の様々な手続きを短時間で完了する必要が生じ、非常に大変な日々を送ることになった。そもそも国内製造の場合、単純に開発元から野辺山に移設すればよいので輸送費のみでよいが、今回は外国からの移設、つまり製品を輸入することになる。成田の税関に確認し

たところ、はじめは税金がかかる可能性があると言われた。最終的に国立天文台職員の方々の協力のもと免税での輸入手続きができるようになった。しかし最終的にすべてが決まったのは11月初めであった。というように、様々な困難を経て2021年11月25日に野辺山45 m鏡の下部機器室のS40/80受信機が設置されていた場所に設置された。図1は設置後に設置チームで撮った写真である。私自身、大学院時代から数値シミュレーションを用いた理論研究をしてきた。そのため開発関係の作業に関しては右も左もわからず非常に大変であった。その他様々な面で舞台裏はバタバタでしていたが、無事に野辺山移設を完了することができた。私だけではとても実現できなかったもので、サポートしてくださった多くの人には大変感謝している。

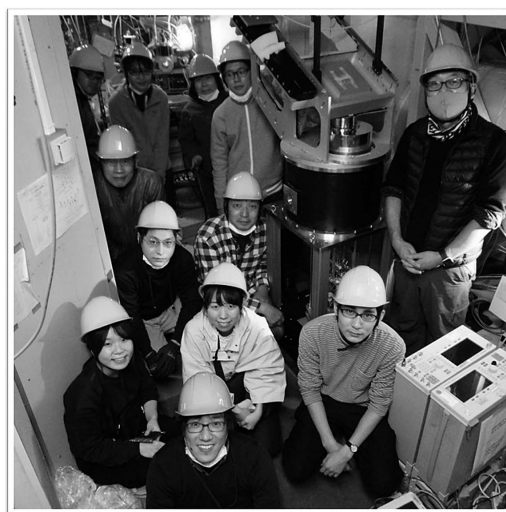


図1 野辺山45 m鏡に搭載を完了したeQ受信機（写真中央付近の円柱状の装置）。一番先頭の方が野辺山の西村淳さん、一番奥中央付近の女性の方が宮澤千恵子さん、受信機の右に立っている方が川邊良平さん、左でしゃがんでいるのが著者、著者の左上の方が大阪公立大の小川英夫さん、その後ろに立っているのが、立ち上げ観測で活躍した山崎康正さん、谷口琴美さん、その他大阪公立大の学生さんである。

### 3. 試験観測と初期測定

上記のように大変な思いをして設置したわけであるが、協力していただいた人の期待に応えるためにも、設置したからにはサイエンスで結果を出す必要がある。そのためにはまず設置した受信機が期待通りの性能を示すことを確認する必要がある。

設置したのが11月末で12月1日から共同利用観測が始まることもあり、設置後の測定は共同利用観測の入っていない週末を使つての作業となった。コロナ禍での県民割のせいか、近隣ホテルが混雑していてチームメンバーの宿を確保するのも大変であったが、12月の週末2回を費やし、初期の立ち上げ測定をほぼ完了することができた。2021年はクリスマスも雪に見舞われた野辺山で過ごした。今となってはよい思い出である。

12月に取得したeQ受信機のビームパターンを図2に示す。人工的なサイドローブの影響は1%程度と非常に低く抑えられ非常に綺麗なビームパターンが取得できた。ビームも比較的丸い形状である。ガウスフィットでビームサイズを測ると43 GHzの周波数で38秒角程度となり、既存受信

機H40, Z45での測定結果に一致した。システム雑音温度は、45 GHzにおいて、Z45受信機で $T_{\text{sys}}=115\text{ K}$ になるような測定条件において、eQ受信機では $T_{\text{sys}}=75\text{ K}$ , 35 GHzで60 K (2022年10月には35 Kを確認)と測定された。測定時の空は観測には比較的よい夜間の測定であった。Chiong氏の記事に書かれているように、予想値は30-45 GHzにおいて69-113 Kであったので予想値通りの値が再現された。なお、受信機の雑音温度は15 Kなので、野辺山のビーム伝送系の雑音の寄与が大きいと予想される。最新鋭の単一鏡に載せれば大幅に雑音温度が下がるかもしれない。

少し遅れてゴールデンウィーク前半の2022年4月末には惑星を用いた能率測定も行うことができた。観測時の木星の視直径は35秒角でアンテナ温度のピーク値から求めたアンテナ開口能率と主ビーム能率はそれぞれ0.61と0.75 (31 GHz), 0.61, 0.73 (43 GHz)となった。Z45の主ビーム能率は43 GHzで0.72であったのでおむね適切な値となった。

立ち上げ観測時には、副鏡の高さを調整し、ピント合わせをするために副鏡位置を高さ方向に約1 mm単位で上下に移動させてSiOメーザーの強度変化を測定した(図3参照)。ピントが合えば、メーザーは最大強度になるはずである。光学系設計時の電磁波パターンを計算するGRASP (General Radiation Simulation Program) シミュレーションを再度行い、シミュレーションでは大阪府立大大学院生の山崎康正さんが副鏡を1 mm程度上にずらしたところがよいことを確認していたが、実際の測定も同程度のところでピントが最も合う結果となった。以上のように、初期測定の結果は我々の予想通りとなった。まずまず順調なスタートである。

Chiong氏の記事ではグリーンバンク100 m望遠鏡 (GBT) とEffelsberg 100 m望遠鏡のQバンド受信機とeQの予想される性能の比較をしている。GBTとEffelsberg望遠鏡と比べると45 m鏡

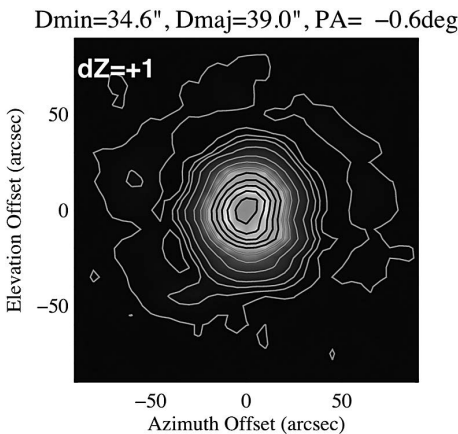
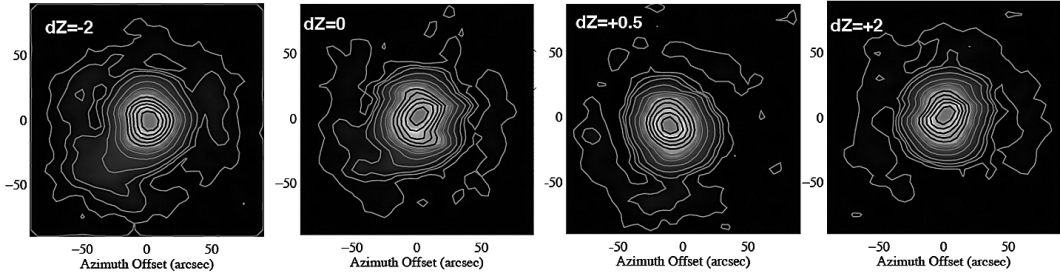


図2 nlm TauのSiOメーザー輝線で取得されたeQ受信機のビームパターン。等高線は最大強度の1%, 3%, 5%, 10%, 20%, 30%, ...で描かれている。横軸, 縦軸はそれぞれ方位角方向, 仰角方向の角度(秒角)を表す。



・ 副鏡オフセット時のビームサイズ(左)とピーク強度(右)

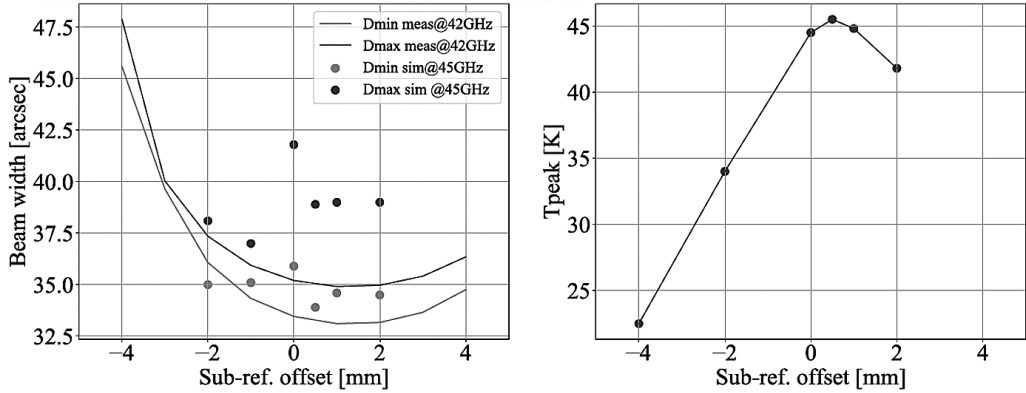


図3 副鏡の高さ (Z方向) のオフセットを変えて取得されたnlm TauのSiOレーザー輝線を用いて得られたビームパターン (上の4パネル), 各副鏡位置で求められたビームサイズ, 副鏡位置を変化させて取得したピーク強度の変化.  $dZ \sim 1$  mmの位置で最も輝線強度が強くなり, ビームサイズも小さくなる.  $dZ$ が負になると, 副鏡ステイの影響が強くなるようである.

表1 Yebes望遠鏡と野辺山の7 mm帯受信機の性能の比較. 両者とも両直線偏波. ビームサイズは43 GHzでの値.

	Yebes	野辺山45 m
口径 受信機名	40 m <b>Nanocosmos</b>	45 m <b>eQ</b>
周波数域 (GHz)	31.3-50.6	30-50
最小周波数分解能	6.1 kHz	3.81 kHz
ビームサイズ	40 秒角	38 秒角
開口能率	0.41-0.53	0.61-0.63
主ビーム能率	~0.5	0.72
システム雑音温度	~60 K	35-70 K
SO (1 <sub>0</sub> -0 <sub>1</sub> )	×	○
CCS (3 <sub>2</sub> -2 <sub>1</sub> )	○	○
CCS (4 <sub>3</sub> -3 <sub>2</sub> )	○	○
稼働開始	2019	2022

の口径は半分ほどしかないが, 受信機のパフォーマンスはeQが優れていることがわかる. 最近ス

ペインのYebes 40 m望遠鏡にもQバンドの受信機 Nanocosmoが搭載され, サイエンス観測が進んでいる [8, 9]. Yebesの受信機との簡単な比較を表1にまとめた. 全体的に性能は同レベルであるが, 45 m鏡の集光能力の高さもあり, eQ受信機のほうが優れている. 主ビーム能率が1.4倍違うため, 同程度の感度でのデータ取得にかかる観測時間はeQの場合は半分程度の観測時間で達成できる. その他の優れた点は周波数分解能3.81 kHzの観測が可能である. 30-50 GHzでは, 3.81 kHzは速度で0.04-0.025 km/sに相当する. 一般に星形成直前の乱流が散逸した高密度領域の速度幅は0.2-0.5 km/s程度であるので, この速度構造を分解するには3.81 kHzは最低必要であろう. YebesのNanocosmoシステムでは2倍程度粗い周波数分解能しかないので, 速度構造の分解には不利である.

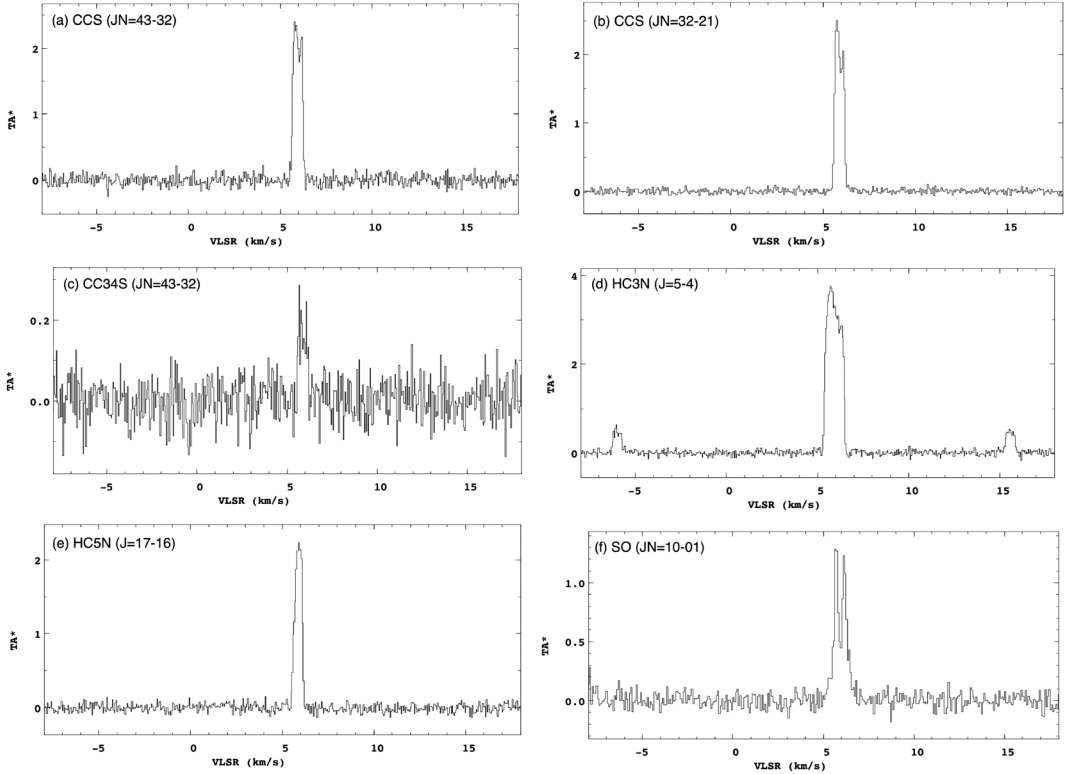


図4 TMC-1 (CP) における (a) CCS ( $J_N=4_3-3_2$ ), (b) CCS ( $J_N=3_2-2_1$ ), (c) CC<sup>34</sup>S ( $J_N=4_3-3_2$ ), (d) HC<sub>3</sub>N ( $J=5-4$ ), (e) HC<sub>5</sub>N ( $J=17-16$ ), (f) SO ( $J_N=1_0-0_1$ ) の輝線プロファイル。同時観測で取得した。HC<sub>3</sub>Nの輝線プロファイルの-5 km/s, +15 km/s付近に見えるものはこの分子輝線の超微細構造線である。周波数分解能は3.81 kHz, 速度分解能は45 GHzと33 GHzで0.025 km/s, 0.03 km/sである。40分ほどの観測した結果である。横軸は視線速度, 縦軸は輝線強度を表す。

最近, 中国の天馬 (Tianma) 65m 鏡にも新しい Qバンド受信機が搭載されたが, eQのほうが感度・帯域とも優れている。eQ受信機でのみ観測可能な30-31 GHz帯には, HC<sub>9</sub>N ( $J=52-51$ ), HC<sub>9</sub>N ( $J=53-52$ ), HC<sub>7</sub>N ( $J=27-26$ ) のほか, 正体不明のUラインもいくつか報告されている [10]。

#### 4. eQを使った新たな星間化学の可能性

以上のように立ち上げ作業は順調に進んだ。次はサイエンスの遂行である。サイエンスに関してはまだまだこれからであるが, 初期のわずかな観測結果からも新たなこともわかりつつある。その例として, 図4にeQで観測したおうし座分子雲に

あるTMC-1のCCS, SO等の輝線スペクトルを示す。この領域は, 密度が $10^5 \text{ cm}^{-3}$ 程度に達し, 温度も $T=10 \text{ K}$ 程度と低く, 内部の乱流運動も小さいので, 星形成直前の進化段階にあると予想されている。データは野辺山のバックエンドシステムSAM45で最小の周波数分解能3.81 kHzで取得されている。3.81 kHzは45 GHzで約25 m/s, 33 GHzで約30 m/sの速度分解能に相当する。この観測点(J2000分点で赤経04 h41 m42.5 s, 赤緯25 d41' 27.0")は我々がZ45を用いてCCS ( $J_N=4_3-3_2$ ) 輝線のゼーマン観測を実行した点(シアノポリンピーク CP)とほぼ同じである。この点の輝線プロファイルは, ソフトウェア分光計PolarisとZ45受信機を用いた観測で, 61 Hzの分解能

( $\approx 40$  cm/s) で取得された輝線プロファイルから、速度の異なる4成分が重なり、4成分が中心に向かって収縮しているという解が輻射輸送計算から最も確からしいことが報告されている [11, 12]. この計算では、確率的に最も確からしい配位を決めたが、そのためにはかなり精度の高いデータが必要であった. ゼーマン観測を実行した点でオフ点スムージングを使つての観測であったので、かなりよい精度での輻射輸送計算が可能であった. 図4(e) に示したSO輝線の形状は図4(a) や (d) に示したCCS輝線の形状とは異なり、ダブルピークにウイング成分が卓越した形状をしている. 相馬らのメタノール等の分子輝線観測 [13] によると、メタノール等の輝線はダブルピークを示し、CCSの一番外側の2成分でメタノールが強いように見える. 相馬らはメタノール形成はダスト起因であると結論付けたが、CCSの2成分が収縮運動で圧縮された領域で圧縮によって温度上昇があった領域の成分と考えるとこの位置で分子雲が収縮しているというシナリオに合う. SOもダストでの形成と気相での形成が考えられるが、温度上昇のためダストから出てきてアバundanceが上昇した成分でSOのダブルピークが説明できるかもしれない. つまり全体の収縮による圧縮で温度が上昇した部分でSOが強くなり、その成分がダブルピークで見えていることになる. 今後の定量的な解析が必要であろう.

以上のように、eQ受信機の高感度という特徴を活かすと、高速度分解能 ( $\sim 0.01$  km/s) でもSN比 (信号対雑音比) がよい観測ができるので、視線方向に重なった成分を分解したうえで、それぞれの成分でアバundanceや励起状態などを比較することが可能である. SN比のよい高速度分解能データなら、Z45のデータで行ったような輻射輸送計算も可能である. つまり今までにない精密な星間化学の研究が可能となるかもしれない.

TMC-1のSO空間分布は94 GHzの輝線による平原らの先行観測 [14] でCCSなどの炭素鎖分子

輝線の分布と異なることが知られているが、我々が取得した  $J_N=1_0-0_1$  輝線でもCCSと空間分布が全く異なり、平原らの先行研究と一致した.

表2 Splatalogue掲載 [15] のCCS輝線の静止周波数.

静止周波数 (kHz)	誤差 (kHz)	出典
CCS $J_N=3_2-2_1$		
33751369.6	1.0	CDMS
33751370.0	40.0	Lovas
33751370.0	4.0	SLAIM
33751373.7	0.8	JPL
CCS $J_N=4_3-3_2$		
45379046.0	20.0	CDMS
45379029.0	2.0	Lovas
45379029.0	5.0	SLAIM
45379033.0	1.0	JPL
CCS $J_N=8_7-7_6$		
93870107.0	20	CDMS
93870098.0	12	Lovas
93870098.0	12	SLAIM
93870107.0	20	JPL

Lovas: NIST Recommended Rest Frequencies, SLAIM: Spectral Line Atlas of Interstellar Molecules, JPL: Jet Propagation Laboratory Molecular Spectroscopy, CDMS: The Cologne Database for Molecular Spectroscopy

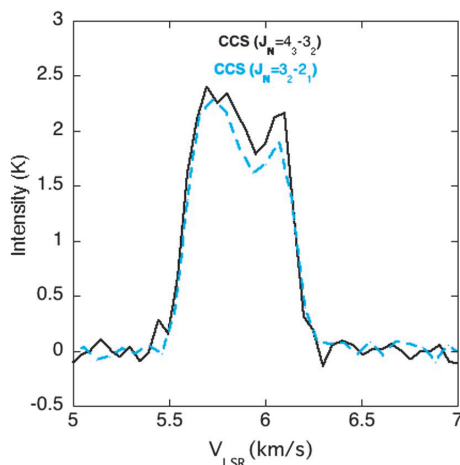


図5 TMC-1 CPにおけるCCS ( $J_N=4_3-3_2$ ) とCCS ( $J_N=3_2-2_1$ ) のプロファイルの比較. 速度軸を少しずらすと2つの輝線プロファイルの広がりがほぼ一致する.

## 5. より精確な静止周波数の決定

さらにeQシステムを使うことで分子輝線の静止周波数の決定にも貢献できる可能性がある。次にその例を紹介する。CCS ( $J_N=4_3-3_2$ )の静止周波数は、ALMA観測でも使われているSplatalogueカタログ中では、表2にまとめたように17 kHzもの差がある。一般に分光実験の測定誤差は1-10 kHz程度であるようなので、測定値は誤差の範囲では互いに矛盾なさそうではある。しかし、下記に述べるように低周波数での天体観測では、より精確な決定が必要である。

天体の速度と周波数の関係は電波域では、

$$V = \frac{v_0 - v_{obs}}{v_0} c \quad (1)$$

のように近似できるが、低周波数に行くほど、この周波数の差の速度への影響は大きくなるので、より精確な静止周波数を使う必要がある。ここで、 $v_0$ は輝線の静止周波数、 $v_{obs}$ は観測される周波数、 $c$ は真空での光速である。45 GHzでは、3.81 kHz分解能（野辺山デジタル分光計SAM45の最小周波数分解能）の観測を行うと、17 kHzの違いは5チャンネル程度もの差になり、速度に換算すると0.1 km/sもの差になる。星形成直前の高密度ガスの内部運動は0.3 km/s程度と小さいので、この誤差は大きい。5チャンネルの差は、eQを用いた高感度高周波数分解能の観測から区別できるはずである。

今回、CCS ( $J_N=4_3-3_2$ )とCCS ( $J_N=3_2-2_1$ )の輝線プロファイルと比較し、この誤差について比較をしてみた。遷移は異なるが、同じ分子の輝線なので、輝線の広がり等、類似性があってもよいだろうと期待される。比較の結果の1例を図5に示した。輝線プロファイルは驚くほど形が似ていることがわかる。輝線プロファイルを作成した際に採用した静止周波数は図の上部に示してある。2つの輝線プロファイルの広がりが一致するには、 $J_N=4_3-3_2$ の静止周波数を15 kHzほどずらす必要が

あるようである。なお今回の比較では、 $J_N=3_2-2_1$ 輝線の周波数はCDMS (The Cologne Database for Molecular Spectroscopy)の値を基準として45 GHzの静止周波数を変えて輝線プロファイルが目で合うようにして決めた。そのため、 $J_N=4_3-3_2$ の静止周波数が上で示した値であるとは言っていない。他の分子輝線や94 GHzのCCS ( $J_N=8_7-7_6$ )の輝線プロファイルとの比較から、今後、より正しい静止周波数を決定することができると期待している。このような観測は高周波数分解能モードでSN比のよいデータ取得が必要となるので、高周波数分解能モードがあり、かつ高感度観測可能な装置、つまりeQ受信機システムでのみ実行可能である。

分子輝線の静止周波数の測定誤差は1-10 kHzであるが、最後の1桁の周波数を決定するために、このような天体観測は使えそうである。静止周波数は分子の構造等で決まるので、このような測定から逆に分子のパラメータを精度よく決められるかもしれない。

## 6. 系外天体の観測

高赤方偏移の銀河からの弱い一酸化炭素CO輝線の検出も高感度eQ受信機なら可能である。図6はその1例でeQで検出したPJ112714.5という赤方偏移 $z=2.2352$ の銀河の一酸化炭素CO ( $J=1-0$ )輝線である。CO輝線の静止周波数は110 GHz程度でeQの帯域外であるが、ビッグバン直後に形成された銀河等の天体が発する分子輝線は赤方偏

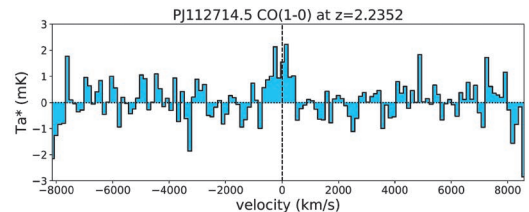


図6 eQ受信機で検出された赤方偏移 $z=2.2352$ の高赤方偏移銀河PJ112714.5からの一酸化炭素CO ( $J=1-0$ )輝線プロファイル。

移によりちょうどeQの帯域に落ちてくる。この天体のCOのピーク強度はアンテナ温度で2 mKと非常に弱いが、ピーク強度が $T_{mb}$ で3 mK程度となり、GBTによる先行研究で得られた強度とよく一致する [16].

## 7. 最後 に

ここではeQの最も重要なサイエンスであるゼーマン観測に関連して、CCS, SOに関する初期観測の結果の一部を紹介したが、Chiong氏の天文月報記事 [1]にあるように30-50 GHzの星間化学の開拓や高赤方偏移の天体（銀河）からの輝線検出による赤方偏移の同定など様々なサイエンスの遂行が計画されている。東アジアでは30-50 GHzの電波観測が可能な装置は少ないため、この波長域の観測ではGreen Bank 100 m鏡やドイツのEffelsbergの100 m鏡、スペインのYebes 40 m鏡などに後れを取っているが、野辺山45 m鏡に搭載されたeQ受信機を用いて新たなサイエンスが開拓され、近い将来利用可能となるALMA Band-1受信機を用いたサイエンスにつながることを祈っている。受信機システムの性能は、Yebes 40 m鏡のNanocosmos受信機、GBT 100 m鏡、Effelsberg 100 m鏡のQバンド受信機よりも性能がよい。つまり現在稼働中のQバンド受信機の中では世界一の性能を誇る [17]。サイエンスでも世界レベルの成果が出ることを目指している。本稿を書き上げた段階では、最も大きなサイエンス目標であるゼーマン観測の試験観測は行っていない。2022-2023年シーズンより野辺山45 m鏡は課金制になってしまうが、今後は予算を獲得し、ゼーマン観測の成功に結びつけたいと考えている。

## 謝 辞

この原稿を書くにあたって、eQ受信機計画をサポートしてくださった方々、野辺山観測所職員の方々に感謝します。設置・試験観測も含め、西村淳さんと宮澤千恵子さんには特にお世話になり

ました。開発全般に関しては、ASIAAのChau Ching Chiong氏、Sheng-Yuan Liu氏、You-Ting Yeh氏ほか開発チームの方々に大変感謝しています。バックエンドの接続デザイン、観測所との調整に関しては国立天文台先端技術センターの藤井義範さんのサポートに感謝します。コロナで計画がうまく進まず精神的に大変な時には小川英夫さんや川邊良平さんに支えていただきました。またお二人には、計画全般に関して多くの助言をいただきました。さらに設置後の立ち上げ観測では、データ解析・観測実行で下井倉ともみさん、Ross Burnsさん、山崎康正さん、谷口琴美さん、米倉覚則さん、土橋一仁さんから献身的に協力してくださいました。高赤方偏移銀河の観測については吉村勇紀さんに観測計画立案から観測実行・解析まで実行していただきました。本稿で紹介した高赤方偏移銀河の観測結果は吉村さんの解析結果です。以上のように多くの方に支えていただき、eQ受信機が野辺山に搭載されました。今後順調に試験観測が進み、東アジアの多くの天文学者がeQを使ってサイエンスを遂行できるようになることを祈っています。eQ受信機に関する詳細はChiong氏の論文 [17]を参照ください。

## 参 考 文 献

- [1] 章朝盛, 2021, 天文月報, 114, 281
- [2] Huang, Y. D., et al., 2016, arxiv:1612.00893
- [3] Yamamoto, S., Introduction to Astrochemistry: Chemical Evolution from Interstellar Clouds to Star and Planet Formation, Springer, 2017
- [4] Nakamura, F., et al., 2015, PASJ, 67, 117
- [5] Mizumo, I., et al., 2014, JAI, 3, 1450010
- [6] Yamaki, H., et al., 2012, PASJ, 64, 118
- [7] Nakamura, F., et al., 2019, PASJ, 71, 117
- [8] Tercero, F., et al., A&A, 2021, 645, 37
- [9] <https://astronomia.ign.es/web/guest/icts-yebes/radio-telescopio-40m> (2022.12.13)
- [10] Kawaguchi, K., et al., 1995, PASJ, 47, 853
- [11] Dobashi, K., et al., ApJ, 2018, 864, 82
- [12] Dobashi, K., et al., 2019, ApJ, 879, 88
- [13] Soma, T., et al., 2018, ApJ, 854, 116
- [14] Hirahara, K., et al., PASJ, 1995, 47, 845
- [15] <https://splatalogue.online/advanced1.php> (2022.12.13)



[16] Harrington, K.C., et al., MNRAS, 2017, 474, 3866  
[17] Chiong, C.-C., et al., SPIE, 2022, 121900M (31 August 2022)

## The eQ Receiver Installed on the Nobeyama 45 m Telescope

Fumitaka NAKAMURA

*National Astronomical Observatory of Japan,  
Division of Science, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo  
181-8588, Japan*

Abstract: eQ is the Q-band receiver having highest sensitivity and widest bandwidth in the corresponding band in the world. It was developed by close cooperation with ASIAA, Taiwan and Japan team (NAOJ and Osaka Pref. University). We successfully installed eQ on the Nobeyama 45 m telescope in November, 2021. In this article, we report its excellent performance, presenting the results of the initial csv observations and measurements. Its high sensitivity allows us to conduct observations with very fine frequency resolution, which can open a new capability to do exact science on astrochemistry. For example, we can accurately decompose the multi-components overlapped along the line of sight and derive the chemical characteristics of each component. Using the results of molecular spectroscopic experiments, we can determine or constrain the rest frequencies of the molecular transitions more accurately. We show such a preliminary result to constrain the rest frequency of CCS ( $J_N=4_3-3_2$ ), which has a relatively large discrepancy of 17 kHz, corresponding to 0.1 km/s, between Splatalogue and Lovas catalogs. Our analysis indicates that the frequency derived by Yamamoto et al. (1990) is most reliable. We hope that the eQ receiver will provide excellent opportunities to explore various new sciences.