

すばるから TMT へ

柏川伸成 かしかわ のぶなり
国立天文台

日本の誇るすばる望遠鏡は、ファーストライトを迎えてから今年で 15 年になる。太陽系天体から遠方銀河まで、百数十億年の時空を超え、まさに宇宙の隅から隅まで実に多彩な天体を観測対象に幅広い観測を行い、数々の素晴らしい成果を挙げてきた。すばる望遠鏡によって様々な宇宙の知見がもたらされたが、同時に新たな謎も数多く抱えることになった。人類の未知の世界に対する好奇心は止めることができず、もっと知りたいという純粋な渴求は、今新たな巨大望遠鏡建設という挑戦にわれわれを向かわせている。本稿では建設が始まった「TMT(Thirty Meter Telescope)」と、それが開くであろう新たな宇宙の扉をいくつか紹介しよう。

TMT 計画

TMT は、ハワイ・マウナケア山頂のすばる望遠鏡の隣に建設される、口径が 30 m(すばるは 8 m)の次世代巨大大地上望遠鏡である(図 1)。これだけの大きな望遠鏡となると国際協力は不可欠であり、TMT の場合、日本、アメリカ、カナダ、中国、インドの 5 カ国が協力して現在建設を進めており、各国がそれぞれの得意とする技術を担当することになっている。

日本は高性能のすばる望遠鏡を製作した経験を買われて、主に TMT 望遠鏡本体と主鏡の一部を製作することになっているが、その他にも随所に日本国内の精密かつ信頼のおける技術が活かされる予定である。すばるの主鏡は 1 枚の鏡で製作されたが、直径 30 m の鏡となるとそうはいかない。TMT の主鏡は、492 枚の小さな(対角 1.44 m)六角形の鏡(この鏡材は日本が製作)を組み合わせて、あたかも 1 枚の鏡になるように設計されている。1

枚の鏡として機能しなければならないので、鏡を磨く精度や鏡を並べる精度は 10 nm(1 nm は 10 億分の 1 m)程度にする必要がある。

鏡が大きくなるに伴って望遠鏡自身やドームも大きくなりがちだが、これを最小限にとどめるためにコンパクトな設計が施され、軽量かつ丈夫な構造になるように工夫が凝らされている。この他、国内の大学と協力していくつかの観測装置も開発する予定だ。ここにもすばるで培った知恵と経験が活かされる。

2014 年 5 月に建設・運用に携わる組織として「TMT 国際天文台」が設立され、既にマウナケア山頂では現地工事が進み、日本国内でも望遠鏡構造や主鏡の一部について製作が始まっている。TMT は、集光力がすばるの 14 倍、解像力がハッブル望遠鏡の 15 倍という圧倒的な性能を誇り、宇宙の様々な謎に挑もうとしている(図 2)。

TMT による新しい天文学の展開

さて、この大望遠鏡の登場によって、天文学研究のさまざまな分野の現在のフロンティアがさらに押し進められることは間違いない。TMT を使えば、現在の限界より 13 億光年先にある銀河の内部構造を見ることができ、宇宙空間の金属量の測定値は 100 倍精度が向上し、これまでよりも 1 桁小さなブラックホールを検出することができる。木星の衛星イオの火山活動を見ることができ、現在の限界よりも 1 桁小さい公転半径をもつ地球型系外惑星を発見することもできるだろう。

より大きな望遠鏡を用いればこれまでの研究がさらに進むのは当たり前ではあるが、すばるの単純な延長線上に TMT があるわけではない。TMT はこれまでできなかったまったく新しい天文学をもたらすことが期待されている。以下にその例を 3 つ示そう。

(1)宇宙で最初に生まれた銀河。すばるは約 130 億光年彼方の超遠方銀河を数多く見つけたが、それでもまだそれらは生まれたばかりの銀河ではないことがわかっている。重元素のなかったごく



図 1—TMT の完成予定図

後方にすばるとケック望遠鏡のドームが見える。国立天文台提供。

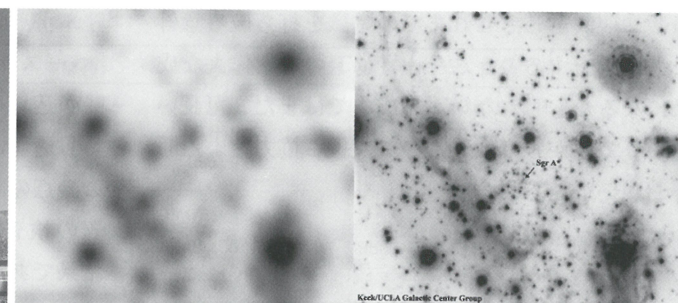


図 2—すばる(左)と TMT(右)の銀河中心のシミュレーション画像の比較

補償光学という技術で地球大気の影響を補正すると非常にシャープな画像が得られる。大口径の TMT はすばる望遠鏡の 4 倍以上の解像度を実現できる。ケック/UCLA 提供。

初期の宇宙で生まれた銀河はわれわれの知るとの銀河とも性質が異なることが予想されている。この宇宙に天体はいつどうやって生まれたのだろうか？ そして宇宙最初の星の中でどのように元素は合成されて周囲の宇宙空間にばらまかれていったのだろうか？ 天体や元素の起源の謎に TMT は迫る。

(2)系外惑星における生命の存在。すばるの活躍もあって現在、候補天体も含めれば 4000 個以上の太陽系以外の惑星(系外惑星)が見つかった。となると次に気になるのはそこに地球外生命がいるかどうかだ。TMT で惑星表面の反射光、さらに惑星大気を通過した主星の光を観測することによって、酸素や有機物など生命に欠かせない物質を発見できる可能性がある。すばるは木星のような大きな系外惑星を見つけたが、TMT はわれわれのような生命の住む、もっと主星に近くてより小さな惑星まで検出する。果たしてそこに生命はいるだろうか？ 生命の起源に TMT は挑む。

(3)宇宙膨張の直接検出。これまでの様々な観測によって宇宙は膨張していると考えられているが、その解釈には仮定や理論モデルが介在している。宇宙が膨張しているなら、今日よりも明日の方が宇宙は大きく、天体同士の距離はどんどん広がっていくはずだ。現在の望遠鏡ではその距離の変化を検出することができないが、TMT で 10 年の時間を隔てた 2 回の観測をすることによってその距離変化が測定できる可能性がある。そこから宇宙膨張の速度を直接測ろうというアイデア

だ。今までにない超精密な測定、しかも 10 年間にわたる安定性も求められるので、実際に実現させるには技術的困難が伴うが、これまでに全く実行されたことのない夢のある観測だ。TMT は宇宙膨張の原因とされているダークエネルギーの謎に挑む。

* *

TMT はわれわれにまったく新しい宇宙観・世界観をもたらすかもしれない。今から約 10 年後に観測開始を予定している TMT は、銀河がまさに誕生する瞬間や、水や酸素を湛える惑星の姿をわれわれに見せてくれることであろう。すばる望遠鏡と連携した観測も計画されており、日本が 2020 年代の天文学をリードしていくことを期待している。

この巨大望遠鏡で何を観測するか？ 日本だけではなく世界中の天文学研究者が、今頭をひねりいろいろなアイデアを出し合っている。まだその観測を実現するには月日が必要だが、完成前にこのようなわくわくするようなアイデアを考える時間は実に幸福だ。しかし、本当に面白い観測結果というものは、思いもしないところからやってくるだろう。なぜなら、すばる望遠鏡の場合も建設前にいろいろな観測提案を考えたが、実際に手にした成果はわれわれの予測を大きく超えるものであったり、意外なものであったりしたことを身をもって知っているからだ。だから天文学は面白く、それほど宇宙は神秘的で自然は深遠なのだ。現在の中学生や高校生が大きくなって、TMT で虚心

坦懷に観測をし、これまでの常識を打ち破る意外な大発見をすることこそがTMTの最も偉大な成果になるかもしれない。完成まではまだまだ長い道のりですが、みなさんのご支援ご協力をよろしくお願いいたします。

2015年5月18日第19回福島県「県民健康調査」検討委員会発表の甲状腺がんデータの分析結果

津田敏秀 つだ としひで
岡山大学大学院環境生命科学研究科

2015年5月18日に福島県から発表された、福島県「県民健康調査」の甲状腺スクリーニング検査の結果を分析した。前回2015年2月12日の発表分と同様、検査結果は「県民健康調査『甲状腺検査(先行検査)』結果概要(資料3-1)」(以下本稿では、「先行検査」と呼ぶ)と「県民健康調査『甲状腺検査(本格検査)』実施状況(資料3-2)」として、第1巡目の甲状腺スクリーニング検査(前者：2011年度から2013年度に実施)と第2巡目の甲状腺がんスクリーニング検査(後者：2014年度と2015年度に実施)とに分けられて集計発表されている。本稿も同様に福島県の呼び方に従い「先行検査」と「本格検査」と

呼ぶが、1巡目の多発がないことを前提にして、「ベースライン」レベルの検診有病割合を知る意味が込められた「先行検査」と呼ぶことは、必ずしも適切なものとはいえないことには変わりはない。この点の誤解については、後にも触れる。今回発表の検査結果は2015(平成27)年3月31日現在の結果である。

先行検査結果と考察

この検査の対象者は、福島県内で1992年4月2日から2011年4月1日までに生まれた住民、すなわち2011年3月11日時点で福島県に居住していた18歳以下の住民とほぼ重なる。

2011年度の調査対象地区において、穿刺吸引細胞診でがん細胞が検出されたが手術後の組織診断では良性結節と判断された1例は「がん症例」としてカウントした。先行検査と本格検査の両方を併せて、2015年3月31日までに穿刺吸引細胞診でがん細胞が検出された127症例の中で、摘出手術を受け組織診断がおこなわれた症例104例のうち、良性結節が1例、乳頭癌が100例、低分化癌が3例であった。穿刺吸引細胞診の陽性反応的中割合は104例中103例(99.0%)であり、穿刺吸引細胞診陽性例をがん症例とすることによって生じるバイアスは十分に小さいと考えられる。

2015年5月18日発表分の先行検査の甲状腺

表2—内部比較(南東地区を基準にした有病オッズ比)

	がん症例数	1次検査受診者数	有病オッズ比	95%信頼区間
2011年度地域(近い地域)	15*	41,810	1.53	(0.63-4.01)
北(福島市・桑折町ほか)	12	50,618	1.01	(0.40-2.73)
中(二本松市・本宮市ほか)	11	18,194	2.58	(0.99-7.05)
郡山市	25	54,063	1.97	(0.88-4.91)
南(白河市・西郷町ほか)	8	16,463	2.07	(0.73-6.00)
いわき市	23	49,405	1.98	(0.88-4.98)
いわき市を除く南東地区(2013年度)	7	29,815	1	
会津地方(西地区：2013年度)	11	32,821	1.43	(0.55-3.91)
相馬地方(北東地区：2013年度)	0	6,354	0	(0-2.51)

内部比較では、2013年度の調査対象地区であるいわき市を除く南東地区を対照地域とした。最も有病割合の低い相馬地方での検出症例数が、変わらず0例だったからである。内部比較の有病オッズ比とその95%信頼区間の推定結果は、EpiInfo 7TMのStatCalcの最尤推定値(Mid-P)を用いた。95%信頼区間の下の値が1より大きいと、いわゆる「統計的有意差がある」ということになる。

*良性腫瘍1例を含む

がん症例数は、前回発表分と比較するといわき市と会津若松市でそれぞれ1例の増加となった。外部比較による発生率比とその95%信頼区間の推定結果および、第1次検査受診者数に対する甲状腺がんの有病割合(1万人あたり)、その逆数である甲状腺がん1例あたりの受診者数を、表1に示す。また、がん症例数、第1次検査受診者数、有病オッズ比とその95%信頼区間の推定結果を表2に示す。

地域間のばらつきは、相馬地方や、いわき市を除く南東地区を基準として、Fisherの直接確率検定(片側5%レベル)で統計的有意差があり明瞭である。検査時期にばらつきがあり、潜伏期間が異なると思われるものの、福島県内での甲状腺がんの多発の程度のばらつきが大きいものであることがわかる。ここまで先行検査が進んだ中においても、相馬地方での甲状腺がんの検出数がゼロであることは目立つ。

スクリーニング調査による甲状腺有病割合の比較

先行検査における福島県内の有病割合とその95%信頼区間(ポアソン分布にもとづく)を目安として、日本国内の他の甲状腺スクリーニング検査結果(岡山大学2012-2014²、鈴木2001³、辻岡2004⁴、環境省2014⁵)、チェルノブイリ周辺で1990年代以来行われてき

た甲状腺スクリーニング検査結果(Jacob 2006)⁶、チェルノブイリ・ゴメリ州で事故から1年後以降に出生した対象者の甲状腺スクリーニング検査結果(Demidchik 2007⁷、Shibata 2001⁸)の順で表3に示す。この表3に示した甲状腺スクリーニングによる甲状腺がん有病割合を見て比較する際の注意点3点は、本年2月号の報告(津田2015)⁹を参照されたい。

本格検査結果

2014年度に開始された本格検査では、先行検査における対象者に加え、2011年4月2日から2012年4月1日までに生まれた福島県民が含まれている。福島第一原発の事故時に胎児であった県民である。本格検査の実施対象者数は、2015年度の2582人を含めて21万9348人であるが、3月31日現在の受診者数は14万8027人(67.5%)と、1巡目よりかなり低い。検査は繰り返せば繰り返すほど受診割合が下がり、症例把握ができなくなるので、他の症例把握方法を早急に検討すべき時期である。具体的には、広島・長崎の被爆者において行われている「被爆者手帳」に相当する制度を確立する必要性と、これに加えて全国のがん登録制度の充実と、特にその中の福島県民での精度を上げる必要がある。これらのシステムを早急に構築すべきである。

表1—外部比較(平均有病期間4年)

	3/100万と比較		有病割合と逆数	
	発生率比	95%信頼区間	×1万	1人あたり
2011年度地域(近い地域)	29.90	(16.73-49.31)	3.59	2,787.3
北(福島市・桑折町ほか)	19.76	(10.21-34.51)	2.37	4,218.2
中(二本松市・本宮市ほか)	50.38	(25.15-90.15)	6.05	1,654.0
郡山市	38.54	(24.94-56.89)	4.62	2,162.5
南(白河市・西郷町ほか)	40.49	(17.48-79.79)	4.86	2,057.9
いわき市	38.79	(24.59-58.21)	4.66	2,148.0
いわき市を除く南東地区(2013年度)	19.57	(7.87-40.31)	2.35	4,259.3
会津地方(西地区：2013年度)	27.93	(13.94-49.97)	3.35	2,983.7
相馬地方(北東地区：2013年度)	0	(0.00-48.38)	0	—

外部比較の信頼区間は、ポアソン分布にもとづく95%信頼区間はGeigy社の「λに関する95%信頼区間」(Lentner 1982)¹にもとづいて推定し、日本全国の0歳から19歳の年間甲状腺がん発生率(2003~2007)を根拠にして100万人中3人と設定した。95%信頼区間の下の値が1より大きいと、いわゆる「統計的有意差がある」ということになる。