

## 投稿

## IAU と日本の天文学の 100 年

## ～地上観測分野を中心として～

岡村定矩（東京大学名誉教授：前 IAU 日本代表）

## 1. はじめに

2019年5月27～28日に、日本学術会議が主催する「天文学の100年：過去から未来へ」と題した国際天文学連合100年記念シンポジウムが国立科学博物館において開催された。そこで、地上観測分野を中心に日本の天文学のこれまでの100年の発展を概観する講演を行った。本稿はその内容をまとめたものである。

## 2. 国際天文学連合とは

それ以前の学術分野の国際交流をほぼ壊滅させた第一次世界大戦直後の1919年に、さまざまな学問分野の連合をまとめる包括組織として国際研究評議会（IRC）<sup>1</sup>がブリュッセルで創設され、同時にその傘下の連合の一つとして国際天文学連合（International Astronomical Union: IAU）が創設された。IRCのルールによって第一次大戦の「同盟国」は連合に加われなかったため、IAUの創設に参加したのは、学術大国であったドイツを除いたベルギー、カナダ、フランス、ギリシャ、日本、イギリス、アメリカの7カ国であった。IAUの歴史に関しては[1]に詳細な記述がある。

IAUは、天文学者を代表する国の機関が加入する「ナショナルメンバー」に加えて、研究者個人が加入する「個人会員」からなる。日本の場合には日本学術会議がナショナルメンバーとして加盟している。実務にあたるの

は物理学委員会の下にあるIAU分科会であり、その委員長がIAUの日本代表を務める。2018年のウィーン総会からは、若手研究者を対象とする「ジュニア会員」と、天文学の発展に多大な貢献のあった人を対象とする「名誉会員」が創設された。2018年のウィーン総会後の時点では、IAUには82のナショナルメンバー（国と地域）と13,714人の個人会員（ジュニア会員535人を含む）が加盟している。名誉会員は9名である。

2009年の「世界天文年」にIAUが中心となって世界中で繰り広げられた天文学の普及活動を契機として、IAUはその活動の幅を大きく広げた。IAUは職業研究者の組織であり、それまでの活動の軸足は「研究の促進」にあった。しかし、2009年のリオデジャネイロ総会で採択された戦略計画2010-2020「発展途上国のための天文学」<sup>2</sup>では、「天文学をベースに社会発展のための活動を行う」ことをIAUの事業とすることが明記されている[2]。そこには、理学のみならず、工学、人文・社会科学の広い分野と密接な関係を持っている天文学の大きなポテンシャルを認識し、それら広範な学問への入り口となる天文学の普及が社会の発展につながるということが説かれている。これを引き継いで2018年のウィーン総会で採択された戦略計画2020-2030[3]では、5つの活動目標が定められているが、そのうちの3つは社会と教育に関するものである。図1に示すIAUの予算を見れば、IAUが社会との関わりをいかに重要なミッションと位置づけているかが分かる。

<sup>1</sup> International Research Council。1931年にICSU（International Council of Scientific Unions）となり、2018年には社会科学分野のInternational Social Science Councilと合体してISC（International Science Council）となった。

<sup>2</sup> 2012年の北京総会で「発展のための天文学」と改訂された。

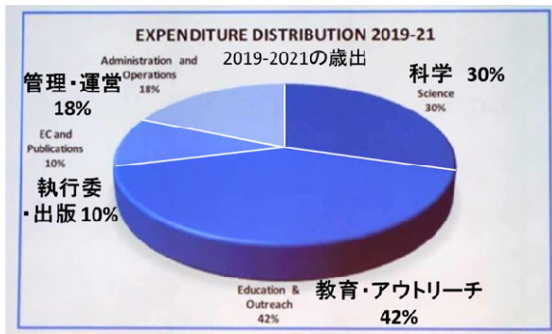


図1 2019～2021の3年間のIAU予算の歳出区分。「教育・アウトリーチ」に「科学（研究推進）」を上回る歳出が予定されている。（2018年ウィーン総会提出資料より）

この活動を遂行するためIAUは、2011年には南アフリカ政府と共同で南アフリカ天文

台に「発展のための天文学推進室（Office of Astronomy for Development: OAD）」、2012年には日本の国立天文台と共同で国立天文台に「国際普及室（Office of Astronomy Outreach: OAO）」、2015年にはノルウェーアカデミーと共同で「若手支援室（Office for Young Astronomers: OYA）」を開設した。もう一つ「天文学のための教育推進室（Office of Astronomy for Education: OAE）」は、2019年設置に向けて候補地の選定中である。

### 3. IAU と日本

創設時のIAUの規則には、IAUの目的として、「国際協力が必要かつ有益なさまざまな国の天文学者との間の交流関係を促進する」、「あらゆる部門において天文学研究を推進す

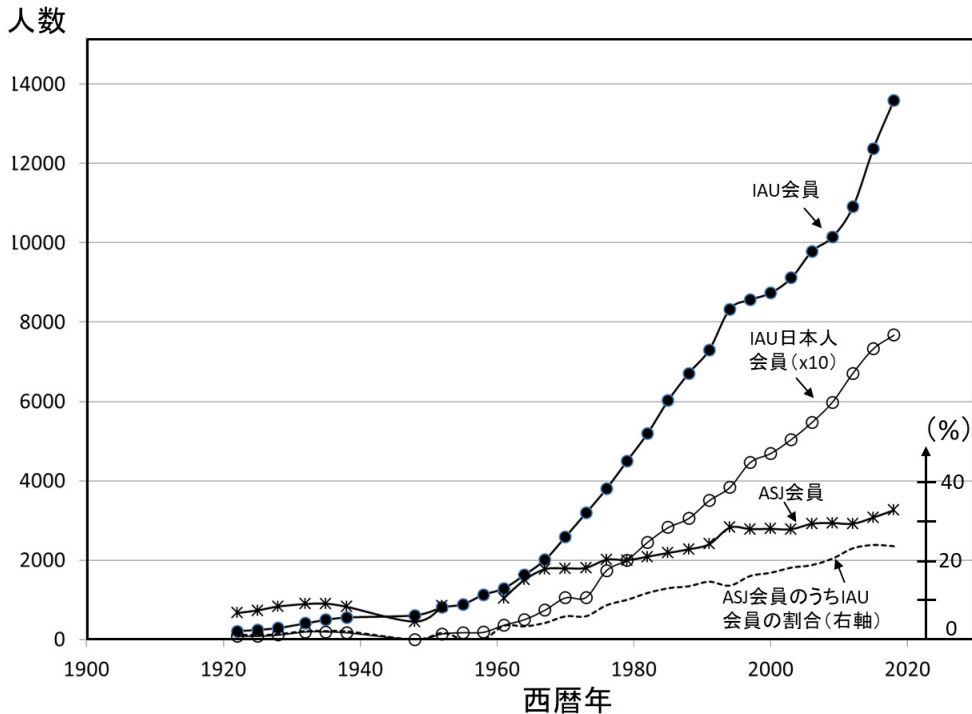


図2 IAU 全体の会員数、IAU の日本人会員数（10 倍してある）、および日本天文学会（ASJ）の会員数の推移。一番下の破線で示すのは ASJ 会員のうち IAU 会員の割合（右の縦軸）。第二次世界大戦の影響で、1948 年の IAU 日本人会員はゼロである。

る」の二つが書かれていた<sup>3</sup>。実際、IAUは総会、シンポジウム、委員会、地域会議、若手向け夏の学校等の活動を通じてその目的を遂行してきた。特にIAU総会とIAUシンポジウムは1980年代頃までは天文研究情報交換の場として決定的に重要な役割を果たした。実際1970年代までは、ほとんどのIAU総会には個人メンバーの5割以上が参加し、時には9割が参加した総会もあった。「どこのIAU総会からあなたは参加しはじめたか」と聞けば相手の天文学者としてのキャリアが分かることさえ言われた[1]。

図2に、IAU全体の個人会員数、IAUの日本人会員数、及び日本天文学会(ASJ)の会員数の推移を示す。第二次世界大戦の影響で、1938年のストックホルム総会から1948年のチューリッヒ総会まで9年間IAU総会は開催できなかった。また1938年に17名だった日本人会員は、戦争の影響で資格を認められず1948年の総会はゼロとなったが、翌1952年総会で14名が復活した。1960年代以降は、

冷戦による「鉄のカーテン」など学術交流にとって困難な要因もあったが、IAU個人会員も日本人会員も増加を続けている。

初期のIAU総会は日本にとっても重要な情報収集の場所であった。1935年の第5回パリ総会に代表とした参加した早乙女清房氏は、東京駅のホームが立錐の余地なきほどの見送りを受け、特急で下関へ、さらに門司から船で大連まで行き、南満州鉄道からシベリヤを横断してベルリンに入り、ほぼ1ヶ月かけてパリに到着したとの記録がある[4]。

#### 4. 日本の天文学の100年：年表

この100年間の日本天文学を年表で概観してみる。第1列に西暦年、第2列に主に「理科年表」の「発明発見と重要事項」に記載されている事項、第3列に日本の主な研究組織の設立、第4列に主な地上望遠鏡と装置を示した表を10年ごとに掲載する(表1～表10)。

表1 1930年以前

西暦年	「発明発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
1918	小惑星の族(平山族)の発見		
1919	IAU創立	東京大学天文学科(源流は古い)	
1920	干渉計による恒星直径の測定	京都大学宇宙物理学教室(源流は古い)	
1921	サハの電離式	東京天文台大学附置研となる	東京天文台(東天)所有(麻布にて) レプソルド子午儀 ブラッシャー写真儀 ゴーチェ子午環 など
1922	星座名表記と略符号		
1923		(関東大震災)	
1924	物質波の概念	東天:東京天文台三鷹へ移転	
	恒星の質量-光度関係		
	渦巻星雲の正体(M31のセファイド)		
1925	シリウスB(白色矮星)		
	恒星の主成分は水素		
1926			
1927	銀河系の回転	東北大学天文学教室(源流は古い)	東天:20cm 赤道儀
1928	星雲線の同定		
1929	ハッブル-ルメートルの法則	京大:花山天文台設立	
			東天:65cm 屈折赤道儀
1930	88星座の確定		東天:塔望遠鏡
	冥王星の発見		

<sup>3</sup> 現在は「すべての面において天文学を促進する」となっている。

## ○ 1930 年以前

1920 年代には、渦巻き星雲の正体が銀河であることがわかり、さらに銀河からなる宇宙が膨張しているというハッブルールメートルの法則が発見され、人類の宇宙観が根底から

描き直された。日本では、東大、京大、東北大の天文学教室が発足し、関東大震災を契機に東京天文台が麻布から三鷹に移転した。当時の主要観測装置の主なものとは東京天文台の装置であった。

表 2 1930 年代

西暦年	「発見発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
1931	チャンドラセカール質量限界 宇宙電波の発見	(満州事変)	
1932			
1933	リオフィルターの発明		
1934	超新星の性質の解明		
1935	中性子星の理論予測		
1936			
1937	銀河団のミッシングマスの指摘		
1938	原子核反応による太陽熱源の説明		
1939	電離水素領域の概念の提唱 恒星質量ブラックホールの理論的予測	(第二次世界大戦勃発)	
	水素陰イオン		
1940	太陽のコロナ輝線の同定		
	星間分子の発見		

## ○ 1930 年代

まさに戦争一色の時代であり、日本の天文学に目立った活動は見られない。世界的には、宇宙電波が発見され、太陽の熱源が核融合反応によることが明らかとなり、ブラックホールの理論予測がなされた。

## ○ 1940 年代

前半は戦争の最中であり、後半も戦争の影響は続いていたが、戦後の 1949 年に乗鞍コロナ観測所が開設された。世界的には、恒星の種族が発見され、ビッグバン宇宙論が提唱され、パロマーの 200 インチヘール望遠鏡が完成した。

表 3 1940 年代

西暦年	「発見発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
1941			
1942	太陽電波の発見 Tタウ型星の発見(-1947)		
1943			
1944	恒星の種族 I と種族 II の区別		
1945	星間中性水素からの 21cm 線の予言	(第二次世界大戦終戦)	
1946	ビッグバン理論の提唱		
1947	恒星の磁場の観測		
1948	パロマー-200 吋望遠鏡完成 定常宇宙論の提唱		
1949		東天:乗鞍コロナ観測所設置	
1950	彗星核の汚れた雪玉モデル		

## ○ 1950 年代

戦争の影響からまだ十分立ち直っていないが、ようやく 1960 年に東京天文台岡山天体物理観測所が設立され、我が国初の大型望遠

鏡であるグラブ-パーソンズ社製の 188 cm 反射望遠鏡が設置された。世界では、中性水素 21 センチ線が観測され、ソ連が人類最初の人工衛星を打ち上げた。

表 4 1950 年代

西暦年	「発見発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
1951	星間中性水素からの21cm線の観測		東天: 乗鞍10cmコロナグラフ
1952	セファイドの種族 I と II の区別		
1953	補償光学の原理の提唱		東天: 10m 太陽電波望遠鏡
	トリプル $\alpha$ 反応の提唱		
1954			
1955	ダイナモ理論の提唱		
	星の初期質量関数関数の指定		
1956			
1957	最初の人工衛星スプートニク1号		
	星の内部での元素合成		
1958			
1959	最初の人工惑星ルナ1号		
1960		東天: 岡山天体物理観測所設立	東天: 岡山188cm

○ 1960 年代

東京天文台で新たな観測所が開設され、京大の飛騨天文台が設立された。観測装置もばらばらと稼働が始まる。世界では、キューサー

一、X 線星、パルサーと発見が続いた。宇宙マイクロ波背景放射が発見され、ビッグバン宇宙論と定常宇宙論の決着がついた。

表 5 1960 年代

西暦年	「発見発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
1961	原始星の林フェーズの発見		
	キューサーの発見(-1963)		
1962	太陽の5分振動の発見	東天: 堂平観測所設立	東天: 岡山91cm, 堂平91cm
	X線星の発見		
1963			
1964		(東京オリンピック)	
1965	太陽近傍のミッシングマスの指摘		
	宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の予言		
	宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の発見		
1966			
1967	パルサーの発見		
	オリオンBN(原始星)/KL(星雲)の発見		
	電弱統一理論の提唱		
1968		京大: 飛騨天文台設立	京大: 飛騨60cm(花山より移設)
1969	人類の月面到達(アポロ11号)	東天: 野辺山太陽電波観測所設立	東天: 岡山65cm 太陽クーデ
1970			東天: 6m ミリ波望遠鏡

○ 1970 年代

日本でもようやく近代的な観測装置が登場し始める。いくつかの観測所も設置された。世界では、ブラックホール候補天体、ガンマ線バースト、連星パルサー、重力レンズなど

発見が続いた。ダークマターの存在を確証づけることになった渦巻き銀河の平坦な回転曲線、宇宙の大規模構造の兆候も発見され、観測的宇宙論の幕開けとなった。

表 6 1970 年代

西暦年	「発見発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
1971	銀河団からのX線放射の発見 ブラックホール候補Cyg X-1の同定		東天:乗鞍25cmコロナグラフ
1972			京大:飛騨65cm屈折望遠鏡
		京大:大宇陀観測所開所	京大:大宇陀40cmシュミット
1973	ガンマ線バーストの発見		京大:1m上松赤外線望遠鏡
1974		東天:木曾観測所設立	東天:木曾105cmシュミット
1975	連星系をなすパルサーの発見		
1976	銀河団ガススペクトルに鉄輝線を検出		
1977			
1978	宇宙大規模構造の発見(-1986)	東天:野辺山宇宙電波観測所設立	
1979	重力レンズによるクェーサーの二重像 連星パルサーによる重力波の間接確認 楕円銀河からの広がったX線放射		京大:飛騨ドームレス太陽望遠鏡
1980	双極分子流の発見 渦巻銀河の平坦な回転曲線(-1982)		

## ○ 1980 年代

重要な二つの全国共同利用機関である宇宙科学研究所と国立天文台が設立され、日本でも天文学の推進体制が格段に強化された。先端的な観測装置が登場した。世界的には 1990

年にハッブル宇宙望遠鏡が打ち上げられた。

また COBE 衛星により、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) のスペクトルが精密に測定された。

表 7 1980 年代

西暦年	「発見発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
1981		宇宙科学研究所設立	東天:野辺山45m ミリ波望遠鏡
1982		東天:野辺山宇宙電波観測所開所	東天:10m 5素子ミリ波干渉計
1983			東大:カミオカンデ
1984		第3回IAU-APRM(京都)	
1985			
1986			岡山188 cm CCDカメラ
1987	超新星SN1987Aからのニュートリノ		
1988	L型褐色矮星の発見	国天:国立天文台設立 木曾観測所:東天から東大へ	東大:60 cmサブミリ望遠鏡 通総研:1.5m 赤外線望遠鏡 宇宙研:1.3m 赤外線望遠鏡
1989			木曾CCDカメラ
1990	ハッブル宇宙望遠鏡打ち上げ CMBスペクトルの精密測定	西はりま天文台開所	国天:太陽フレア望遠鏡

## ○ 1990 年代

1991 年にすばる望遠鏡の建設が始まり、2000 年には VERA の建設も始まった。特色ある望遠鏡や観測装置が登場した。1997 年に IAU 総会が京都で開催され、世界の天文学者に日本の天文学を紹介した。2000 年にすばる望遠鏡が完成し、光赤外の観測分野で日本は

世界の第一線に立った。1992 年に COBE 衛星が宇宙マイクロ波背景放射の温度ゆらぎを観測した。1995 年には長年探し求められていた太陽系外惑星が発見され、1998 年には宇宙の加速膨張という驚くべき観測結果が示された。銀河系中心のブラックホールの存在が確立した。

表 8 1990 年代

西暦年	「発見発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
1991		国天:すばる望遠鏡建設開始	
1992	CMBの温度ゆらぎの発見		国天:野辺山電波ヘリオグラフ
	冥王星型天体(1992QB1)の発見		京大:大宇陀 60cm RC望遠鏡
	パルサーの周りを公転する惑星の発見		
1993	ハローコンパクト天体(MACHO)の発見		
	原始惑星系円盤の直接観測		
1994		天文学振興財団設立	国天:1.5m 赤外シミュレータ 鹿児島大:6m ミリ波望遠鏡
1995	太陽系外惑星の発見		
	T型褐色矮星の発見		
	若い褐色矮星の発見		
1996	原始星の出すX線放射の観測		名大:4m ミリ波望遠鏡なんてん 東大:スーパーカミオカンデ
1997	ガンマ線バーストの残光と銀河系外起源	第23回IAU総会(京都)	
1998	グリニッジ天文台の廃止		東大:富士山頂サブミリ波望遠鏡
	銀河系中心のブラックホールの証拠		
	宇宙の加速膨張の発見(-1999)		
1999		ぐんま天文台開設	ぐんま1.5m 望遠鏡 国天:TAMA300稼働
2000	すばる望遠鏡運用開始		国天:8.2mすばる望遠鏡
	トランジット法による太陽系外惑星の検出	国天:VERA建設開始	名大:1.4m IRSF 赤外線望遠鏡 国天:すばるSuprime-Cam

○ 2000 年代

国立天文台と宇宙科学研究所がそれぞれ、他の組織と統合改組された。2004 年には ALMA 望遠鏡の建設が始まり、他にも特色ある装置が多数登場した。新しい組織や装置が誕生する一方で、長年活躍した装置の廃止や

利用形態の変化が見られるようになった。宇宙マイクロ波背景放射の温度ゆらぎの観測を他の観測と合わせて宇宙論パラメータが精密に決定され、精密宇宙論とよばれる時代に入った。

表 9 2000 年代

西暦年	「発見発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
2001	ガンピーターソンの谷の発見		鹿児島大:1m 光赤外線望遠鏡
	ハッブル定数の高精度決定		
2002		第8回IAU-APRM(東京)	東大:ハワイ2mマグナム望遠鏡
2003	宇宙論パラメータの精密決定	宇宙科学研究所JAXAに統合	国天:VERA(水沢、小笠原、石垣島、鹿児島) 京大:飛騨太陽磁場活動望遠鏡
2004	マイクロレンズによる太陽系外惑星	国立大学法人化 自然科学研究機構設立	西はりま2mなゆた望遠鏡
		国天:ALMA望遠鏡建設開始	国天:チリ10m ASTE望遠鏡
		広大:東広島天文台設立	名大:1.8m MOA望遠鏡 名大:4mミリ波望遠鏡なんてん2 東工大+国天:MITSuME望遠鏡
2005			
2006	惑星の定義と太陽系天体の種族名称		広大:1.5m かなた望遠鏡
		石垣島天文台開設	石垣島105cm むりかぶし望遠鏡
2007		東大:Kavli-数物連携宇宙研究機構設立	
2008	冥王星型天体という名称を採択	日本天文学会創立100周年	
	太陽系外惑星の直接撮像		
2009	逆行する太陽系外惑星	国天:乗鞍コロナ観測所共同利用終了	東大:1m miniTAO望遠鏡
	太陽系外の岩石惑星の検出		
2010			国天+大学:JVN(VLBIネットワーク) 宇宙研:はやぶさの帰還

## ○ 2010 年代

大学連携光赤外拠点ネットワークという新たな取り組みが始まった。2012 年には重力波望遠鏡 KAGRA の建設が始まり、2013 年にはアルマ望遠鏡が運用を開始した。アルマ望遠鏡はかつてない分解能と集光力で、太陽系外惑星の形成現場の詳細、遠方銀河の星生成活動などを明らかにしつつある。2016 年にはブラックホール連星の合体による重力波観測

の報告があり（実際の観測は 2015 年）、2017 年には二重中性子連星の合体によるキロノバが観測され、重元素生成の現場であることがわかった。優れた撮像能力を持つ二つのカメラ、ハイパーシュプリームカムとトモエゴゼンが開発された。更に 2019 年にはイベントホライズンテレスコープにより M87 のブラックホールシャドウの画像が捕らえられた。

表 10 2010 年代

西暦年	「発明発見と重要事項」	日本の天文研究組織	地上望遠鏡と装置(抜粋)
2011		大学連携光赤外拠点ネットワーク (東日本大震災)	北大:1.6m ピリカ望遠鏡
2012		東大他:KAGRA建設開始	
2013	アルマ望遠鏡運用開始	日本天文学会新法人移行	国天:アルマ望遠鏡
2014		国天:TMT建設開始	国天:すばるHyper Suprime-Cam
		大型計画マスタープラン(日本学術会議;3年毎)	
2015		野辺山電波ヘリオグラフ 名大に移管	
2016	ブラックホール連星合体時の重力波		
2017	中性子星合体のキロノバの観測		
2018		岡山天体物理観測所共同利用終了	京大:3.8m せいめい望遠鏡
			宇宙研:はやぶさ2 リュウグウ到達
2019	M87のブラックホールシャドウの観測		東大:木曾トモエゴゼンカメラ

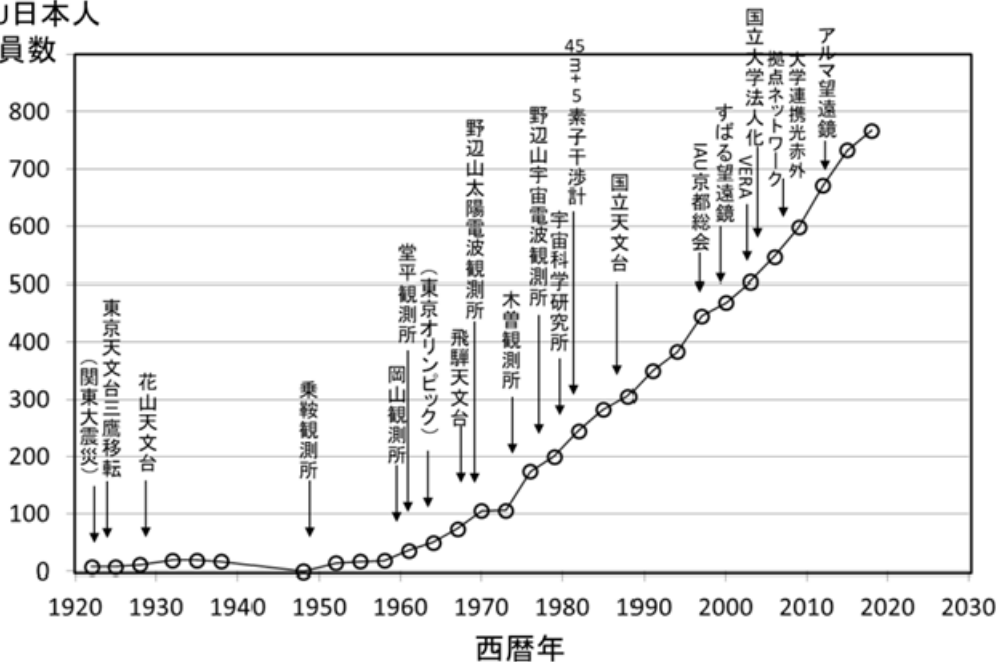
IAU日本人  
会員数

図 3 IAU の日本人会員数と日本の主な研究機関、観測装置等の設置状況



日本の研究組織と観測装置に関する主な出来事を、日本人の IAU 個人会員数の推移に重ねてみたものが図 3 である。日本の天文学の進歩と IAU 個人会員数の増加が歩を合わせていることがわかる。

### 5. 日本の基幹望遠鏡

日本の地上観測分野を世界の最先端に引き上げたすばる望遠鏡とアルマ望遠鏡、及びこれからその役目を担う TMT と KAGRA を概観する。

#### 5.1 すばる望遠鏡

ハワイ州マウナケア山頂に大口径光学赤外線望遠鏡を建設する。これがすばる望遠鏡プロジェクトである。1991 年から建設が開始され、2000 年に単一主鏡としては世界最大の口径 8.2 m すばる望遠鏡が完成した。これは日本独自のプロジェクトであったが、大使館関連施設以外で外国におかれる国の施設として前例がない、マウナケア山頂は科学保護区でありかつネイティブのハワイアンにとっては神聖な場所である、設置する土地はハワイ州

からハワイ大学に貸与されているものを転貸される等々の政治的・社会的課題の多いものであった。

それに加えて技術的課題も山積していた。図 4 に見られるように、望遠鏡の大口径化への道は反射鏡の軽量化への道であったともいえる。ハニカム鏡、薄メニスカス鏡、モザイク鏡の選択肢の中からすばるが選んだのは薄メニスカス鏡であった。口径 8.2 m の単一の鏡を作る。それは世界でまだ誰も実現したことはなかった。更に加えて、計画の具体的な



図 4 大望遠鏡への道：鏡の軽量化

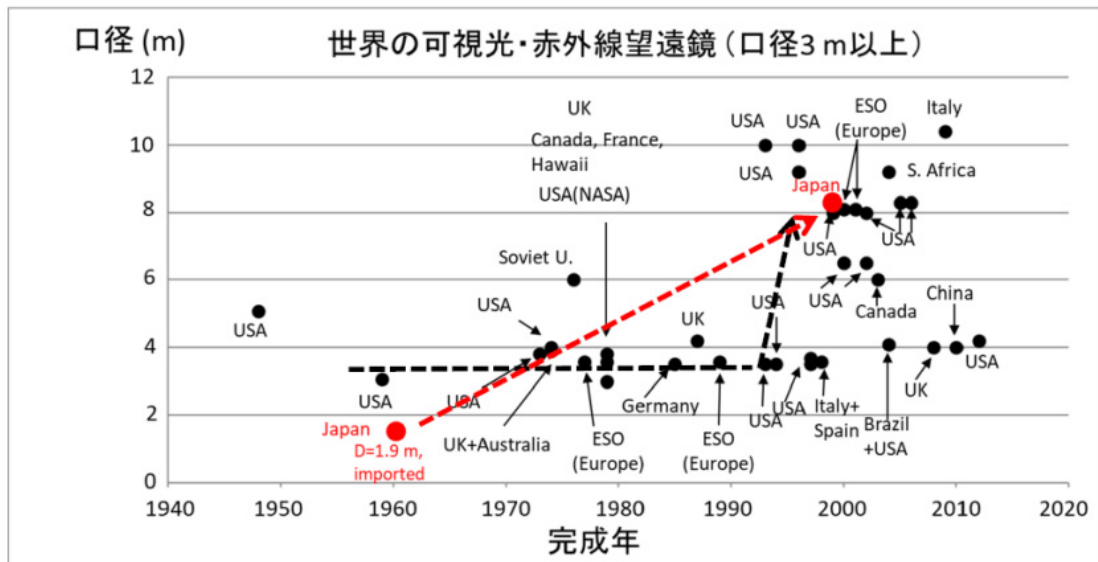


図 5 世界の大望遠鏡を、縦軸に口径、横軸に完成年を取ってプロットしたもの

検討が始まった 1980 年代、日本には大型望遠鏡に関する技術も観測経験もほとんどなかった。図 5 に世界の大型望遠鏡建設の歴史を示す。諸外国は 4 m 級望遠鏡の豊富な経験の上に立って 8 m 級を実現したのに対し、日本は 1960 年の 1.88 m から一挙に世界の最先端に挑戦したことが分かる。プロジェクトの主契約を受けた三菱電機は、1974 年に完成した 3.9 m アングローオーストラリア望遠鏡（架台と制御部分）しか大型光学望遠鏡の製造経験はなかった。この時の経験を持つ故木下親郎氏のもとで、若い伊藤昇、三神泉氏がすばる望遠鏡製作の技術責任者となって、天文学者とさまざまな分野の技術者との間で技術検討が行われた。その結果、世界にも類を見ないユニークなドーム形状、熱膨張を極限まで制御され世界最高の鏡面精度をもつ薄メニスカス鏡、それを支える 261 本の高精度アクチュエーター（分解能 10 万分の 1）とそれらの力の作用点を工夫したユニークな主鏡支持機構などを備えたすばる望遠鏡が完成した。



図 6 すばる望遠鏡（左）と主焦点に搭載された広視野カメラ Suprime-Cam（右）（画像提供：国立天文台）

なかでもとりわけユニークであったのが、広視野撮像を目指すための主焦点の設置であった。主焦点を作るためには、鏡筒の先端に置かれる重量を支えるために望遠鏡全体を強靱に作る必要がある。また広い視野を取るための主焦点補正光学系も必須である。すばる望遠鏡の建設経費が同規模の望遠鏡に比べて高価であるのは、主焦点での広視野撮像を目指したからである。後述するが、このことはすばる望遠鏡の将来に大きな影響を与えることになる。

## 5.2 アルマ望遠鏡

南米チリのアタカマ高原（標高 5000 m）に設置された 66 台のアンテナからなるミリ波/サブミリ波帯の電波干渉計、これがアルマ望遠鏡である。これはすばる望遠鏡のような日本独自の計画ではなく、日本、アメリカ、ヨーロッパ（17 カ国からなるヨーロッパ南天文台：ESO）の国際共同プロジェクトとして始まった。現在は、東アジア（日本、韓国、台湾）、北米（アメリカ、カナダ）、ヨーロッパの 3 極により設立された合同アルマ観測所が運用にあたっている。

歴史的経緯を見ると、日本は困難な状況からの出発であったにもかかわらず、最終的にはプロジェクトに大きな貢献をしたことが分かる。1983 年頃に日本とアメリカで大型ミリ波干渉計の計画が持ち上がった。その後日本はサブミリ波まで視野に入れ、サブミリ波観測に最適なサイトを探すため、1992 年から



図 7 アルマ望遠鏡（画像提供：ESO/NAOJ/NRAO）

チリ北部でのサイト調査を開始した。更に1995年にはESOも同様な計画の検討を始めた。1997年には東京で日米ワークショップが開催され、日米計画間の協力が議論され、1999年には米欧が計画の合同に合意した。その後紆余曲折を経て、2001年に日米欧の3極会議を東京で開催し、3者共同建設に合意した。2001年にアメリカの予算が認められ、2002年にはESOの予算も認められたが、日本の予算はなかなか認められなかった。置いてきぼりになった形の日本だったが、2年以上遅れて2004年に予算が承認されてからは、驚異的なスピードで米欧に追いつき追い越した。アルマ仕様に合致する最初のアンテナを納入したのは日本だったし、分担した16台のアンテナをすべて期日通りに納入したのは日本だけであった。更に受信機開発においても、日本は最も開発が難しいと言われたバンド10を含む3バンドの受信機を開発・供給した。

このアルマプロジェクトで日本は高い国際的信用を得た。「日本は決断(予算承認)は遅いが、一旦決断すると国際プロジェクトの非常に信頼できるパートナーになる」。アルマ望遠鏡建設の記録は、山根一真氏が長年の詳細な聞き取りや現地調査に基づいて書いた著書[5]によくまとめられている。その本の帯には、「日本が自信を取り戻す」日本人必読の熱い



図8 日本が開発した3バンドの受信機(出典は国立天文台、注記は筆者)

ドラマ、とある。

2019年4月10日に、イベントホライズン望遠鏡(EHT)がおとめ座銀河団の巨大楕円銀河M87の中心核にあるブラックホールのシャドウ(影)を捕らえたとのニュースが世界を駆け巡った。アルマ望遠鏡がEHTに参加したことがその大成功の鍵であったことは広く知られている。また、VERAプロジェクトから始まって、それを日本国内の多くのアンテナ、韓国のアンテナ、さらには東アジアの多数のアンテナを含む一大VLBIネットワークに進化させていった日本のグループが、この大成功にも重要な役割を果たした。

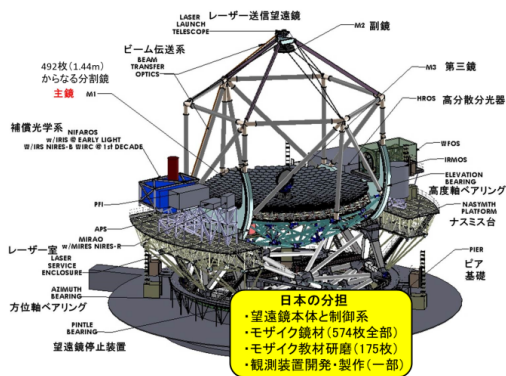
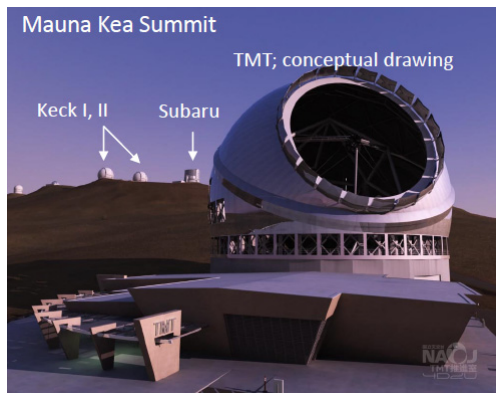


図9 TMTの完成予想図(左)と構造解説図(右)(何れも国立天文台の資料に説明を補足)

### 5.3 TMT と KAGRA

すばる、ケック、ジェミニ、VLT など 8～10 m クラスの望遠鏡が活躍する中、次のターゲットは口径 30 m 級の超大型望遠鏡であることは明らかだった。アメリカ、日本、ヨーロッパでそれぞれ計画が構想された。日本はすばる望遠鏡と同じく、独自に超大型望遠鏡をマウナケア山頂に置く計画を進めたが、最終的にはアメリカのカリフォルニア大学連合を中心とした 30 メートル望遠鏡 (Thirty Meter Telescope: TMT) 計画に参加することを 2008 年に決定した。アメリカではもう一つの巨大マゼラン望遠鏡 (Giant Magellan Telescope: GMT) 計画があるが、こちらはチリへ設置が決まっており、一方 TMT への日本参加は、すばる望遠鏡のあるマウナケア山に設置することを戦略的条件としたものであった。

TMT は、カナダ天文学大学連合、カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、中国科学院国家天文台、インド科学技術省、及び国立天文台 (日本) が参加する国際プロジェクトであり、2014 年に設立された TMT 国際天文台が建設・運用にあたる。すばる望遠鏡で培われた経験と技術をもとに、日本は TMT プロジェクトで中心的な役割を担っている。日本の担当部分は、望遠鏡本体と制御系の製作、モザイク主鏡鏡材のすべて (予備を含めて 574 枚) の供給、主鏡鏡材 175 枚の研磨、観測装置の一部の開発・製作などである。

2014 年 10 月に TMT 建設の起工式が行われたが、民族運動の建設反対派から、ハワイ州土地天然資源省が承認した保護地区利用許可の承認手続が妥当でないとの申し立てがあり、ハワイ州最高裁は 2015 年 12 月に手続のやり直しを命じた。利用許可の再確認に当初想定を超える年月を要することになったが、2019 年 6 月に最終的な現地工事開始の許可が得られた。TMT のファーストライトは

2028 年頃と見込まれている。

東京大学宇宙線研究所が中心となって、国立天文台、高エネルギー加速器研究機構等と共同でレーザー干渉計型の大型低温重力波望遠鏡を建設するプロジェクトが 2010 年に始まった<sup>4</sup>。KAGRA と名付けられた重力波望遠鏡は岐阜県神岡の山中に設置されている。旧神岡鉱山の地下に直交する二本のトンネルを掘り、そこに長さ 3 km の真空パイプを通して、その中に設置する冷却したサファイア鏡によりレーザー干渉計を構成する。地面振



図 10 KAGRA の概略図 (上: 出典 東京大学宇宙線研究所) と防振装置に取り付け作業中のサファイア鏡 (下: 出典 東京大学)

<sup>4</sup> トンネルの掘削工事は 2012 年に始まった。

動の小さい安定した地下に設置することと、主要な4枚の鏡を極低温にして雑音を抑えて感度を上げることが、外国の装置にない KAGRA の特長である。

建設開始時点では KAGRA は重力波検出の一番乗りを目指していたが、それは実現できなかった。最初の重力波は、2002 年に観測を開始して以来長年性能向上のための開発を進めてきたアメリカの重力波望遠鏡 LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) によって、2015 年 9 月 14 日に検出された。KAGRA は 2019 年末頃の本格観測を目指している。KAGRA の観測が始まれば、アメリカの LIGO (2 台)、ヨーロッパの VIRGO とともに重力波天文台のネットワークを組んで、重力波源の天球上の位置を正確に決めることができるようになり、重力波天文学の大きな発展が期待できる。

### 6. 世界をリードする二つのカメラ：ハイパーシュプリームカム (HSC) とトモエゴゼン

すばる望遠鏡は 8 m 級望遠鏡の中で唯一主焦点を有していることはすでに述べた。主焦点は、広い視野が確保でき、主鏡で 1 回反射されただけで光が集まる光損失最少の焦点のため、微光天体の探査に必須の焦点である。

主焦点広視野撮像の実現には、カメラだけでなく、主焦点広視野補正光学系、および補正光学系とカメラを精密に支えて回転させる装置回転機構など技術的に開発課題の多い要素があり、一時はすばる計画の中で主焦点の実現が危ぶまれた時期もあった。しかし、関係者の絶大な努力によって、8 m 級望遠鏡で唯一実現したのである。第一期観測装置として主焦点に置かれたのは筆者が PI を勤めたシュプリームカム (Suprime-Cam) である。視野は 27' × 34' で、そこを 10 枚の 2k × 4k の CCD 素子でカバーした。Suprime-Cam は 8 m クラス望遠鏡の大集光力と広視野を生かすユニークな装置として、さまざまな分野で大きな成果を挙げた (図 11)。

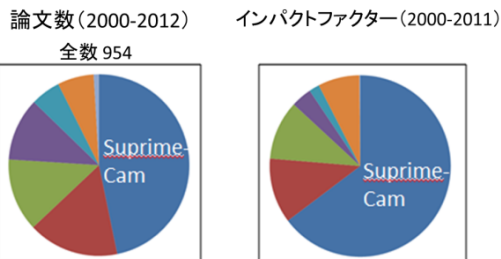


図 11 運用からほぼ 10 年間の第一世代の 7 つの観測装置の成果 ([6] のデータから作成)

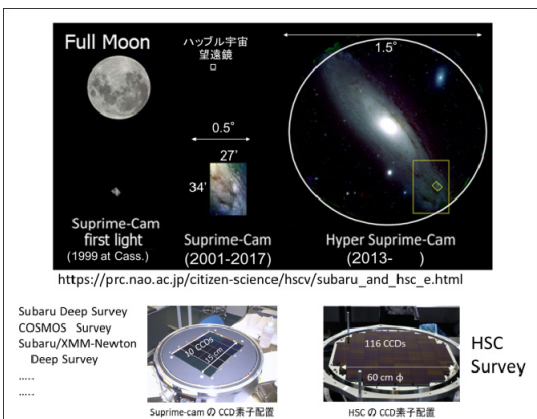
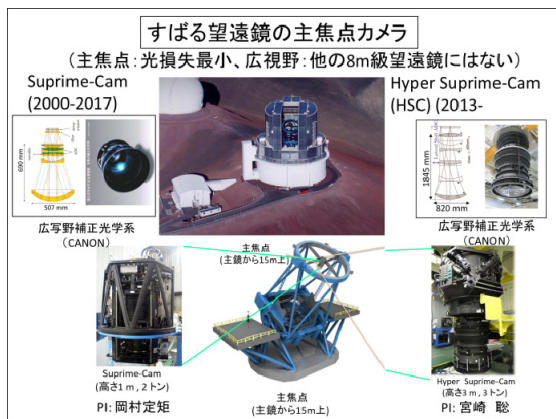


図 12 Suprime-Cam と Hyper Suprime-Cam (HSC) の比較。右図の上は視野の比較、下は CCD の配列。HSC では 116 枚のうちの 104 枚を撮像に用いている (個々の図の出典は国立天文台)。

Suprime-Cam の大きな成功を受けて、更に高性能の Hyper Suprime-cam (HSC) の開発が宮崎聡氏を PI として行われ、2013 年から観測が始まった。HSC は  $2k \times 4k$  の CCD 素子 104 枚で Suprime-Cam のほぼ 10 倍の視野をカバーする (図 12)。主焦点補正光学系も新たに開発され、巨大なカメラを搭載するためにトップリング (筒頂環) も新たなものに交換された。すばる戦略プロポーザル (Subaru Strategic Program : SSP) で 5~6 年間に 300 夜の観測時間を獲得した大サーベイ (HSC SSP Survey) が現在進行中である。HSC SSP サーベイは、日本の関連研究者のほぼすべてと台湾、およびプリンストン大学の研究者による国際プロジェクトである。サーベイで得られたデータは取得後一定期間経過したものから順次全世界に公開される。2017 年 2 月にはその第一次公開、2019 年 5 月には第二次公開が行われた。このサーベイのデータは今後しばらくの間、かつてのパロマーチャート [7] のような世界基準として利用されることになるだろう。HSC SSP サー

ベイの解説と初期成果は、日本天文学会欧文研究報告の 2018 年 1 月の特別号にまとめられている [8]。HSC サーベイのデータを誰でも簡単に見ることができる画像ビューワー hscMAP も整備されている [9]。Suprime-Cam は 2017 年 5 月 30 日に最終ランを終えて、17 年間の活躍に幕を下ろした。

2019 年 4 月、東京大学木曾観測所の 105 cm シュミット望遠鏡用の革新的なカメラが完成した。トモエゴゼンと名付けられたこのカメラは、木曾シュミットの直径 9 度という広い視野を 84 個の CMOS センサー (キヤノン製) で覆い尽くす。ただし、センサーの間には隙間があるので、一度にカバーできる視野は 20 平方度である。隙間なく視野全部をカバーするには 4 回の露光が必要である。このカメラの最大の特長は、高速の CMOS センサーを用いているため、露光時間を 0.5 秒まで短くする、すなわち空の動画を撮れる所にある。これだけ高速に広視野をカバーできる天文学用のカメラは世界に類を見ない。パロマーシュミット望遠鏡では、焦点面に大型のモザイ

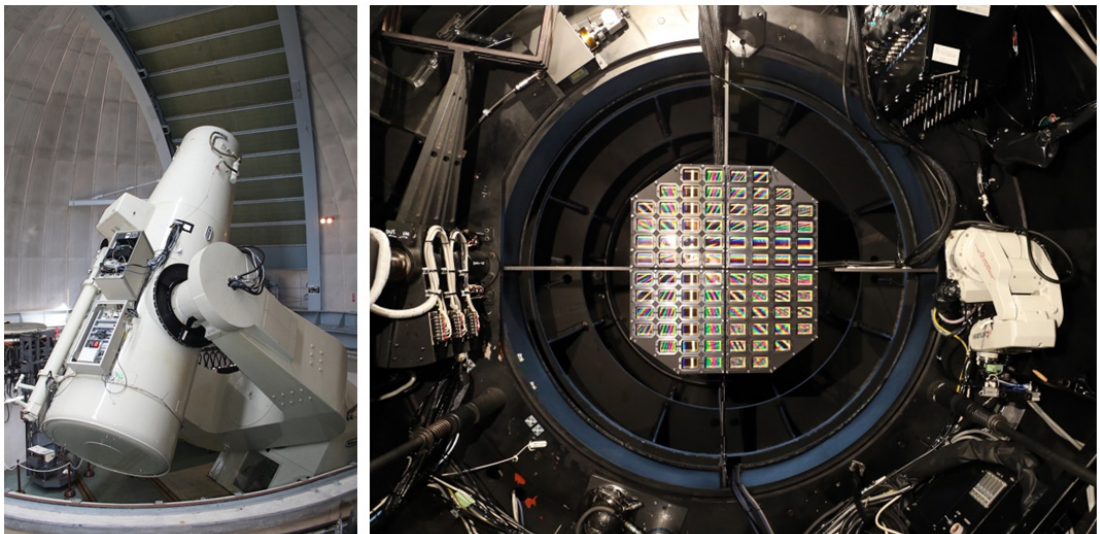


図 13 木曾シュミット望遠鏡 (左) とその焦点に取り付けられたトモエゴゼン (右) (画像提供: 東京大学木曾観測所)

ク CCD カメラを付けたトランジェント天体の探査が 2009 年から始まり、トランジェント天体の発見と研究に大きな進展をもたらした。その最新版であるツピッキートラジェントファシリティー (ZTF) [10] は 2017 年から観測を始めた。そのカメラは、トモエゴゼンの 2 倍以上の視野 42 平方度を CCD でカバーするが、CCD の読み出しに 10 秒かかるので、連続撮影画像でも 10 秒以下の時間分解能は得られない。1 秒以下という時間分解能も可能にするトモエゴゼンの広視野撮像からどのような天文学が拓けてくるか興味は尽きない。実際、試験観測を始めたとたんの 2019 年の 3 月には、直径 8 メートルの小惑星が地球をかすめて通り過ぎたことを示すデータが得られている。

## 7. まとめと今後の展望

地上観測分野を中心に、日本の天文学の 100 年を概観した。筆者の独断であえて一言でまとめれば、「戦中戦後は世界に遅れを取ったが、1970 年頃から頑張った。そして現在は世界に伍しているばかりか、一部の分野では世界をリードしている。」ということになる。IAU の中では、今や日本は個人会員数で世界第 3 位の大国である。

今後天文学分野では、観測装置の大型化にともない建設・運営予算の巨大化が進む事は必至である。今後世界規模での経済成長は鈍化すると思われ、すでに見られる装置建設や運用における国際協力は今後必須となって行くだろう。そのような流れに向けて日本の天文が考慮すべき事は、世界の中での存在感をいかに確保するか、すべての分野に投資するか得意分野への集中か、現在の先端に行く大プロジェクトと次の新しい分野を開く萌芽の研究のバランスをどう取るか、社会の理解を得るために天文学と社会のコミュニケーションをいかに促進するか(これは IAU の戦略目

標でもある)、等などであろう。

社会とのコミュニケーションで言えば、日本天文学会の「インターネット天文学辞典」[11] は先駆的な試みとして注目される。一方、IAU の個人会員数は第 3 位であるにもかかわらず、世界の天文の中での日本の存在感は憂慮すべき事態にある。何れも故人となられたが、古在由秀、海部宜男両氏が会長を務められ、海部氏はここ 10 年あまりの IAU の大改革の屋台骨を支えられた。また、渡部潤一氏が 2018 年に副会長に就任された。しかし、近年 IAU 活動の中心である部会や委員会の中核にいる日本人が少なくなり、IAU 内の日本のプレゼンスは低下している。2018~2021 の 3 年間を見ると、執行委員会付きの特別指名委員会と決議委員会に日本人各 1 名がいるが、9 つの部会の委員長と副委員長はゼロ、35 の委員会では委員長は僅か 1 名、副委員長はゼロである。部会と委員会では通常、組織委員の中から副委員長を選び、副委員長が次の期の委員長になることが多いので、2021 年からの 3 年間は、部会長と委員長ともにゼロになる可能性が高い。また 1997 年の IAU 京都総会以降、1998 年から 2017 年までの 20 年間に 151 の IAU シンポジウムが開催されたが、そのうち日本で開催されたのは僅か 2 つという有様である。

IAU に関する日本の若手天文学者の関心が低いことが原因ではないかと想像する。大成功に終わった IAU 京都総会 (図 14) に続いて、再び IAU 総会を日本で開催することを提案したい。可能な最速のプランは、2024 年の第 32 回のケープタウン総会で、第 34 回総会 (2030 年) の開催地として日本が発表されることである。

そのためには十分な余裕を持って招聘計画を準備し、2024 年の執行委員会で競争を勝ち抜いて選ばれる必要がある。若い人々の奮起を期待したい。



図 14 1997 年の IAU 京都総会の開会式の様子を報じる IAU 新聞

## 謝 辞

本稿作成に当たって、記述内容（一部）に間違いなどないか、有本信雄、家正則、石黒正人、梶田隆章、土居守、宮崎聡の諸氏に確認をお願いした。記して感謝いたします。

## 文 献

- [1] Andersen, J., Baneke, D., and Madsen, C. 2019, The International Astronomical Union; Uniting the Community for 100 Years (Springer)
- [2] [https://iau.org/static/education/strategicplan\\_2010-2020.pdf](https://iau.org/static/education/strategicplan_2010-2020.pdf)
- [3] [https://www.iau.org/administration/about/strategic\\_plan/](https://www.iau.org/administration/about/strategic_plan/)  
<https://tenkyo.net/wp/wp-content/uploads/2>

019/05/iau\_strategic\_2019\_jp\_05.pdf

- [4] 天文月報、1935 年（第 28 巻）7 月号、122 頁
- [5] 山根一眞著『スーパー望遠鏡「アルマ」の創造者たち』、日経 BP コンサルティング、2017 年
- [6] Arimoto, N. 2015, Subaru Telescope, Director's Report 2009-2013, presented at the External Review of National Astronomical Observatory, 24-26 Feb, 2015
- [7] <http://astro-dic.jp/palomar-observatory-sky-survey/>
- [8] Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 70, SP1, January 2018, SPECIAL ISSUE: SUBARU HYPER SUPRIME-CAM SURVEY
- [9] <https://prc.nao.ac.jp/citizen-science/hscv/hscviewer.html>  
<http://hscmap.mtk.nao.ac.jp/hscMap2/>
- [10] Bellm, E.C. et al. 2019, PASP, 131:018002 (19pp)
- [11] <https://astro-dic.jp/>



岡村 定矩