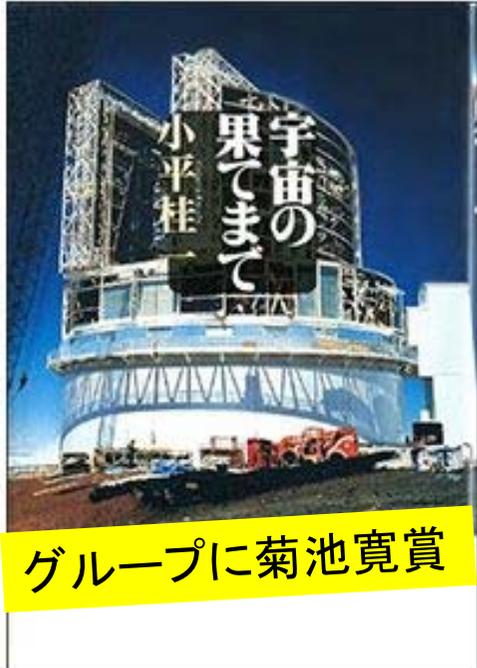


すばる望遠鏡計画

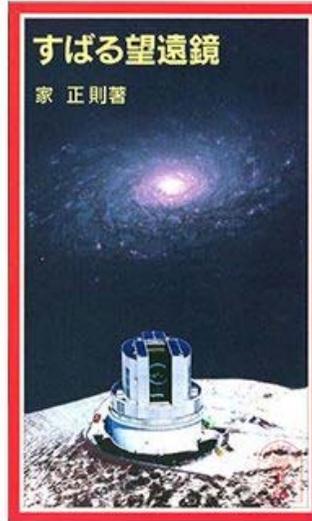
家正則(元国立天文台、日本学士院)

- ハワイ観測所(外国設置の初の国立施設)
- 構想1984-1990, 建設1991-1999, 運用2000-
- 総工費約400億円、運用経費約30億/年=>20億/年、
減価償却費 1000万円/夜
- ハワイスタッフ38名, RCUH59名, (院生15名)
- 観測的宇宙論、星・惑星系形成、極限物理=>7つの装置
- 世界中の天文学者に公開
- <https://www.nao.ac.jp/>(国立天文台)
- <https://subarutelescope.org/jp/>(すばる望遠鏡)

すばる望遠鏡計画書籍 ・ 総説論文



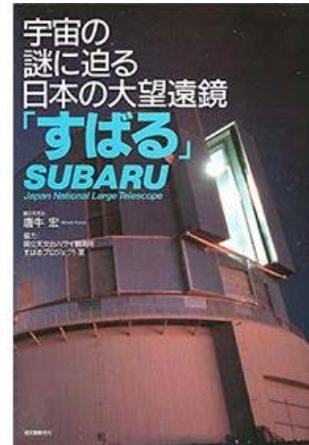
宇宙の果てまで
(文藝春秋)
小平 桂一 (著)



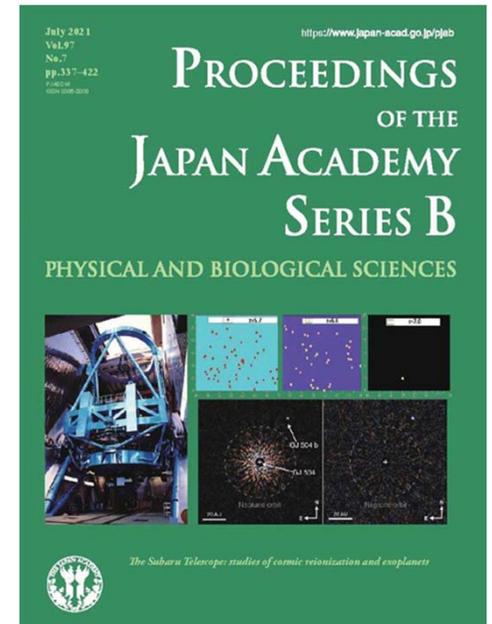
すばる望遠鏡
(岩波書店)
家 正則 (著)



世界最大の望遠鏡
「すばる」
(平凡社)
安藤 裕康 (著)



宇宙の謎に迫る日本の大望
遠鏡「すばる」
(誠文堂新光社)
唐牛 宏 (著)
国立天文台ハワイ観測所すばる
プロジェクト室 (協力)



Review paper:
Subaru Telescope -- History,
active/adaptive optics,
instruments, and scientific
achievements,
M. Iye
Proc. Japan Academy Ser. B.
Vol.97, 337-370,
(July, 2021)

検討に7年、建設に9年、運用21年、
関係者1000人以上。総括も1000通り

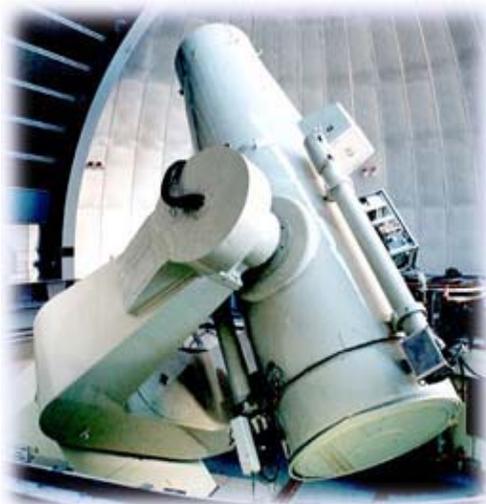
岡山天体物理観測所188cm望遠鏡



萩原雄祐
東京天文台長

辞表を胸に昭和天皇への御進講(1953)
日本初の3年国債で予算化(1956)
完成時世界第6位(1960)
X線星の光学同定(寿岳、小田、1966)、
低温度星分類(藤田、山下、1970)
恒星研究で活躍したが、夜空が明るく
銀河観測には不向き

木曾観測所105cmシュミット望遠鏡

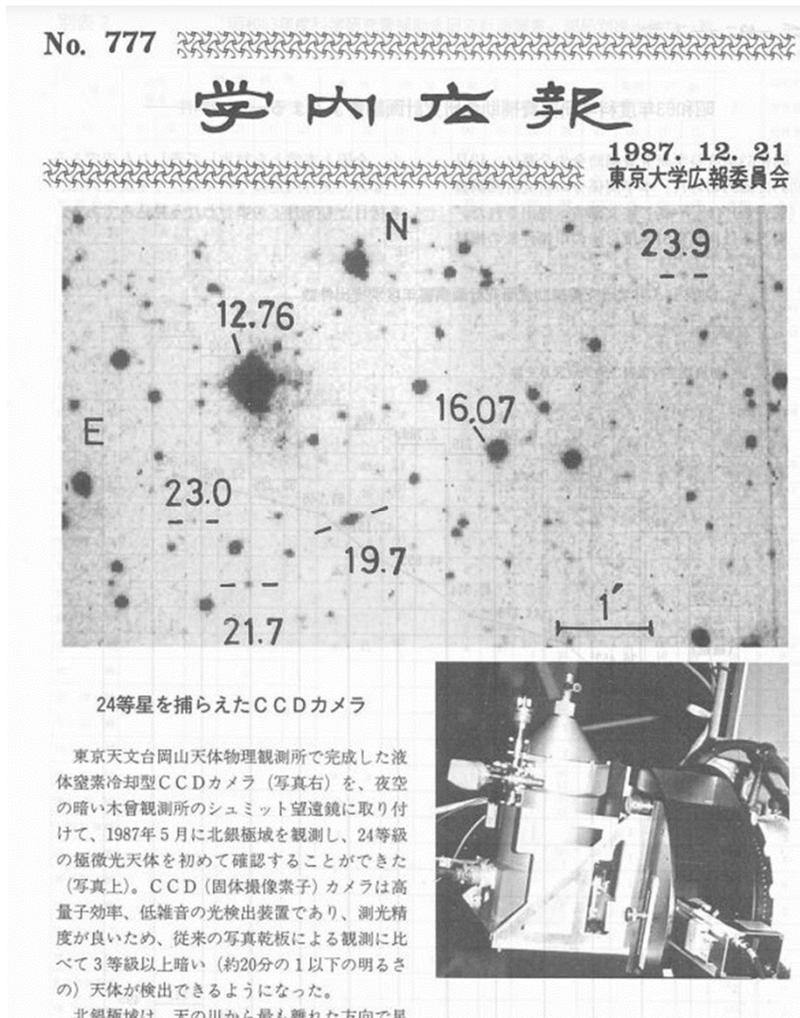


高瀬文志郎
初代所長

完成時世界第3位(1974)

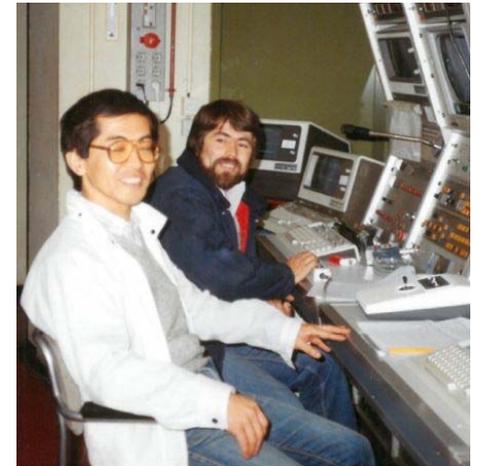
銀河表面測光グループ(岡村他1980年代)
が育ち後のすばる望遠鏡につながった。
晴天率とシーイングでは苦戦。

デジタル時代の到来 CCDカメラの実用化(1985年)



銀河の最先端観測は海外4m級望遠鏡の利用許可に頼るしかなかった。

日加共同研究
日英協力
ハワイ大
UH2.2m
DAO1.8m
KPNO4m
CFHT3.6m
ESO3.6m
INT2.5m
WHT4.2m



ESO3.6m(1984)

国内3.5m計画か海外7.5m計画かで激論(1980-84)

**海外適地に日本の最先端望遠鏡を建設
日本の底上げ+外国にも貢献**

**=> 大型望遠鏡計画の光天連活動
ハワイのJNLT構想
天文研連の支援**

ハワイ設置交渉経緯

- 1980年10月 MK訪問、IfAとの最初の打ち合わせ(山下、Jeffries)
- 1983年3月 日本の望遠鏡設置可能性フォローアップ(小平、Hall)
- 1984年6月 覚書MOU起案
- 1984年10月 京都IAU、ハワイ大からJNLT招致表明
- 1985年5月 サイトテスト検討
- 1985年10月 JNLT転貸契約書(SubLease)草稿
- 1986年3月 運用開発協定書(OSDA)草稿
- 1986年8月 覚書(MOU)署名:東京天文台長、IfA所長
- 1988年11月 OSDA,SubLease完成



事前調査経費

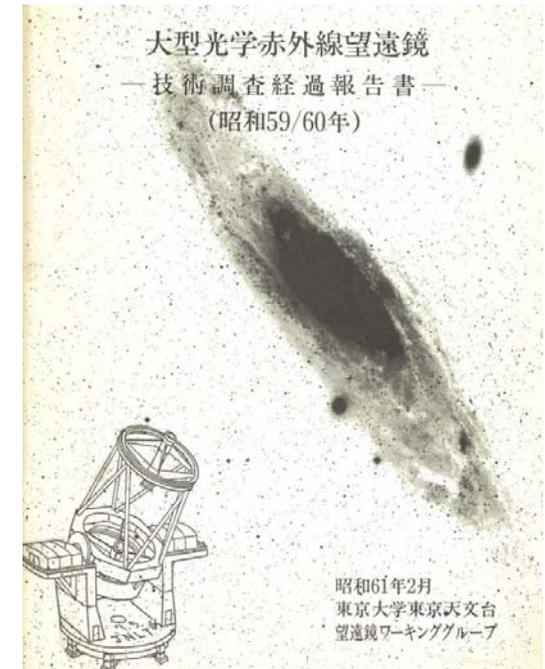
- 1986—88年 望遠鏡制御と非球面(科研費:試験研究:3500万)
- 1986—88年 サイト調査・気象試験(科研費:海外学術調査:2200万)
- 1987—88年 大型望遠鏡能動制御(科研費:特定研究:9100万)
- 1986—87年 主鏡支持法の基礎研究(校費:三菱電機共同研究:120万)
- 1988年 観測装置の検討(校費:120万)

JNLT計画 白書(1986年2月)

- (1)口径7.5m軽量主鏡、経緯台式
- (2)マウナケア設置
- (3)0.1秒角に迫る解像力
- (4)0.5度角の広い視野
- (5)主焦点、カセグレン、ナスミス
- (6)可視から中間赤外線まで
- (7)建設に5年(業者見積無)

1980年8月 CFHT建設経緯調査
1980年10月 IfA訪問、JNLT構想説明
1980年11月 IfA協議(受入条件等)
1983年3月 IfA協議(受入手順確認)
1984年6月 MOU草稿作成
1985年6月 **日本学術会議特別報告**

計画書で期待した成果より、予見できなかった展開に大きな成果【科学は生き物】



銀河宇宙の形成と進化

(ライマン α 銀河)

恒星・惑星系の形成と進化

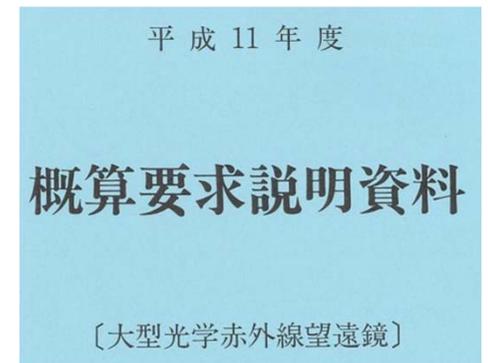
(系外惑星)

極限物理現象

(中性子性連星重力波源)

1988年秋：JNLT概算要求骨子を固めた。

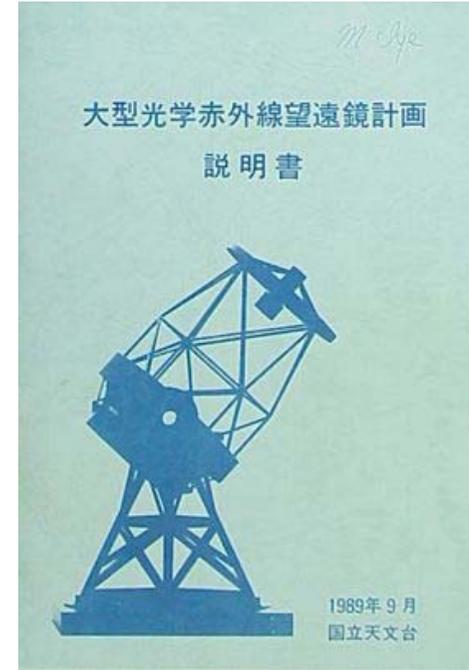
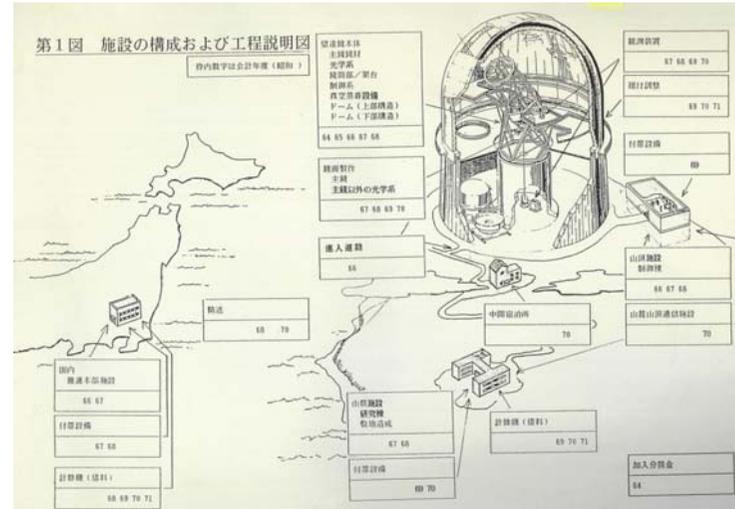
- 能動光学7.5m鏡、4焦点＋7装置、
マウナケア設置(MOU)、ヒロ山麓施設
3講座26名派遣＋現地雇用、8年計画
総額400億(設備314億、施設75億、校費5億)
- 建設構成要素
- 各構成品概算見積
- 年次計画



- * 要求書作成(小平、唐牛、野口、中桐、宮下、沖田
手書きイラスト、色鉛筆塗りの時代)

JNLT計画 青書(1989年)

- (1)口径7.5m軽量主鏡、経緯台式
- (2)マウナケア設置
- (3)0.23秒角
- (4)0.5度角の広い視野
- (5)主焦点、カセグレン、ナスミス
- (6)可視から中間赤外線まで
- (7)建設に8年(工程具体化)
- (8)建設総額450億円

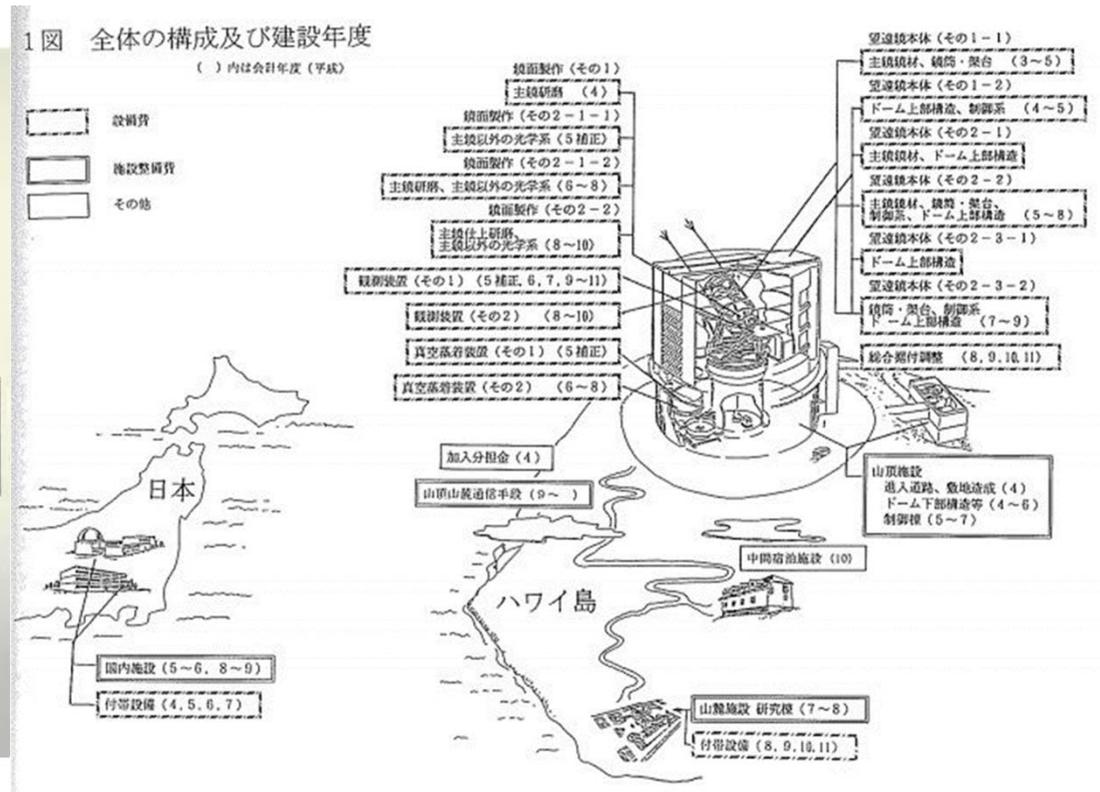
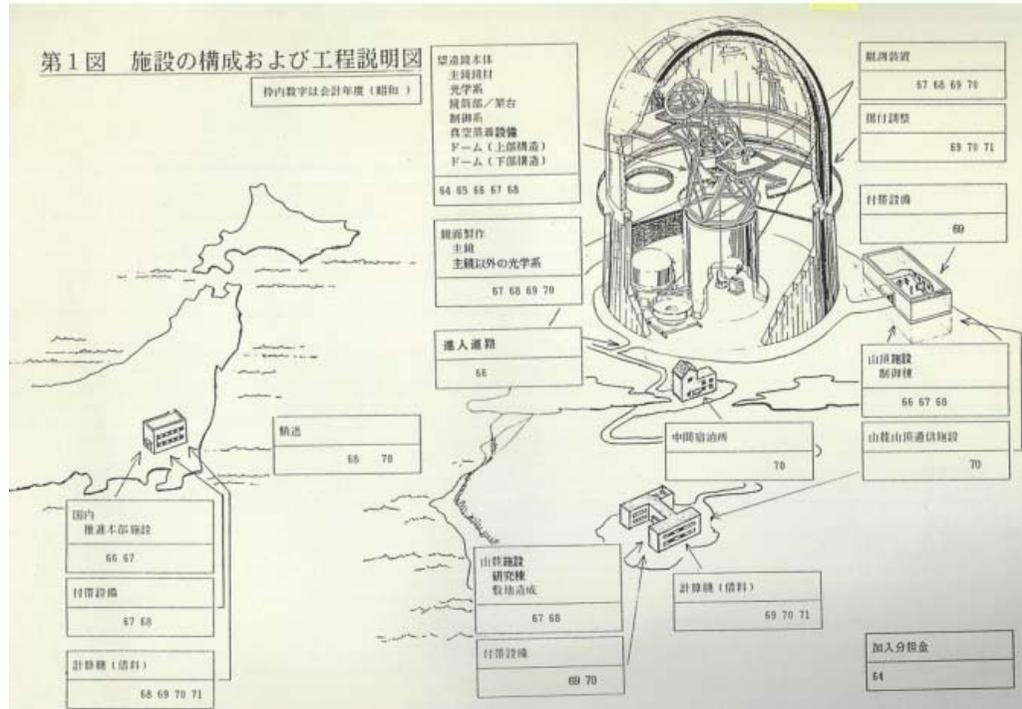


第2図 概略工程表

区分	年度	昭和64年度	昭和65年度	昭和66年度	昭和67年度	昭和68年度	昭和69年度	昭和70年度	昭和71年度	備考
設	望遠鏡本体				試験	輸送				
	主鏡鏡材		製	造						
	光学系				単体試験					
	鏡筒部/架台	設	計	製	造	仮組試験	解体・梱包			
	制御系			製	造	試験	調整			
	真空着脱機構			製	造	仮組試験	解体・梱包			
構	ドーム	加入分担金 環境/2/10/1 地盤調査	T-1上部構造製造	仮組	輸送	F-1組付				
	鏡面製作									
	主鏡					製	造	試験	輸送	
	主鏡以外の光学系					製	造	試験	輸送	
	観測装置					設	計	製	造	試験
	付帯設備				国内シミュレータ	国内測定器等	国内測定器等	国内シミュレータ		
施	輸送					輸送	(真空着脱機構)	輸送	(観測装置)	
	据付調整						(鏡筒部/架台 制御系)	据付・調整	据付・調整	据付・整合調整
	山頂施設			設計	施	工				
	制御棟			設計	施	工				
	敷地造成		設計	施	工					
	進入道路		設計	施	工					
設	中間宿泊所							設計	施	工 (ハワイ大学)
	山麓施設									
	山麓研究棟				設計	施	工			
	敷地造成			設計	施	工				
山麓山頂通信施設							設計	施	工	
国内推進本部施設			設計	施	工					

- 1985年9月 MOU協議(小平・ホール)
- 1985年10月 SubLease草稿
- 1986年3月 OSDA草稿
- 1986年8月 MOU署名(古在・ホール)
- 1988年1月 UH Hilo学長、ハワイ島市長、より招致文書
- 1988年11月 Sublease,OSDA署名(古在)

概算要求計画構成と建設年度



(左) 1989年施設建設年次計画

(右) 1999年施設建設年次計画

1989年度概算要求(左:1989年から8年計画) 1999年度概算要求(右:1991年から9年計画)

第2図 概略工程表

区分	年度	昭和64年度	昭和65年度	昭和66年度	昭和67年度	昭和68年度	昭和69年度	昭和70年度	昭和71年度	備
設	望遠鏡本体				試験	輸送				
	主鏡鏡材	製	造							
	光学系				単体試験					
	鏡筒部/架台			製	造	仮組試験		解体・梱包		
	制御系	設	計	製	造	試験		調整		
備	真空蒸着設備			製	造			仮組試験	解体・梱包	
	ドーム	加入分担金 環境744107 地盤調査	ドーム上部構造製造	仮組	輸送			ドーム据付		
備	鏡面製作									
	主鏡				製	造		試験	輸送	
	主鏡以外の光学系				製	造		試験	輸送	
	観測装置				設	計		製	造	試験
	付帯設備				国内シミュレー	国内測定器等	NOI測定器等	NOIシミュレー		
施	輸送							輸送		
	据付調整							据付・調整	据付・調整	据付・調整
	山頂施設				設計	施	工			
施	制御棟				設計	施	工			
	敷地造成		設計	施	工					
施	中間宿泊所						設計	施	工	(ハワイ大学)
	山麓施設									
施	山麓研究棟				設計	施	工			
	敷地造成				設計	施	工			
施	山麓山頂通信施設						設計	施	工	
	国内推進本部施設				設計	施	工			

II-2. A. 装置建設年次計画

区分	年度	平成3年度	平成4年度	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	備考
設	望遠鏡本体 (その1 1-1) (その2 1-2) (その3 2-1) (その4 2-2) (その5 2-3-1) (その6 2-3-2)										
	鏡面製作 (その1 1) (その2 2-1-1) (その3 2-1-2) (その4 2-2)										
備	真空蒸着設備 (その1) (その2)										
	観測装置 (その1) (試験観測装置) (その2)										
施	付帯設備										
	総合据付調整										
施	ドーム下部等施設 ドーム下部 制御部										
	山麓施設										
施	国内施設 開発実験棟 研究実験棟										
	その他										
その他	加入分担金										
	中間宿泊施設										

注) --- 国庫債務負担行為 — 単年度

複数の3年国債予算+単年度予算

合意書骨子

- 分担金： 5億円
- 山頂、山麓各1エーカー。2033年まで転貸与 (SubLease)
- 利用料 各々年1ドル、土地代2000円を概算要求
- * 2033以降については心配していなかった(45年先に話)
- * 米軍Pohakuloa 訓練場1964～2029年、年1ドルの悪い前例。
反省： 地元への還元無く、IfAの天文学者だけ得した。
TMTでは地元教育ファンドなどを配慮したが・・・。
- 望遠鏡時間 52夜(15%)をハワイ大学の自由に
反省： 10%の前例はあったが、本来%でなく金額で交渉すべきだった。 400億の15%は60億だが、見合わない。

観測装置提案

(1) 初期提案装置群(1986年)

撮像: 写真カメラ(P)、CCDカメラ(P)、CCDカメラ(C)、赤外カメラ(N)

スペックル干渉計

測光: 2次元測光器(P,C)、高速測光器(C)、分光偏光測光器(C)、
赤外測光器(C)、CVF分光測光器(C)、赤外偏光器(N)

分光: グリズム写真儀(P)、多天体同時分光器(P)、
中分散分光器(N)、高分散分光器(N)、フーリエ分光器(N)、
ファブリペロ分光器(N)、赤外冷却分光器(N)、
赤外ファブリペロ分光器(N)、クーデ分光器

(2) 数年にわたる装置小委でのレビュー・基礎開発支援を経て

(3) 第一期観測装置選定合宿@賢島(1995年6月28日): 7台を認定

SuprimeCam, FOCAS, HDS, IRCS, CIAO, OHS, COMICS

すばる観測装置戦略賢島合宿 (1995年6月28日)

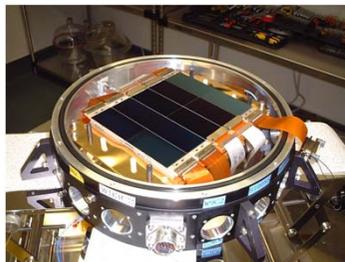
20装置提案から7提案にGo Sign + 初代AOに予算付け。

2002年までに結局全て共同利用化。



7つの観測装置

- 主焦点



主焦点
カメラ

- ナスミ
ス焦点



高分散
分光器



OH夜光除去
分光器+近
赤外カメラ

- カセグ
レン焦
点



微光天体分光器



コロナグラフ



補償
光学

<>



近赤外分光器



中間赤外分光器

可視光

近赤外線

中間赤外線

建設中に変更したこと

- 口径を7.5mから8.2mに拡大(8.1mVLT, 8.0mGEMINI意識)
- 主鏡重心面支持(261個のポケット)
- ドーム形状を半球から円筒に(接地境界層)
- 予算要求額不変(焦点距離保存、ドームサイズ保存)

外国設置の問題点

- VISA 派遣職員Aビザ、RCUH職員Jビザ、家族就労不可
- 住居手当、赴任経費、帰国旅費、医療、納税、...
- 子供の教育、現地公立学校、英語での教科のフォロー、

8m Club & Agency Meetings

- 1992年 米上院Houcke委員会がGemini計画を査問
- M.Mountain, S.Wolfeから上院に能動光学のメリットを訴えるため SubaruとVLTに支援協議要請。
- 2年間で5回Subaru、VLT、Geminiが技術協議の会を開き、家が参加
- 同じ能動光学でもその実装方式は三者三様だった。
- すばるの穴あけ方式や、装置交換は心配された。Geminiのカセグレンクラスタを心配。当時、主焦点には皆冷やややかだった。
- 1990年代末にはClub100が結成されたが、ESOの方針変更で以後開催されなくなった。
- 平行して各国のFunding AgencyがELT(後にSKA中心)を議論する場が設けられていたが、MEXTは参加にしり込みし、家が参加。
- この人的ネットワークやSPIE活動が後のELT国際化につながった。

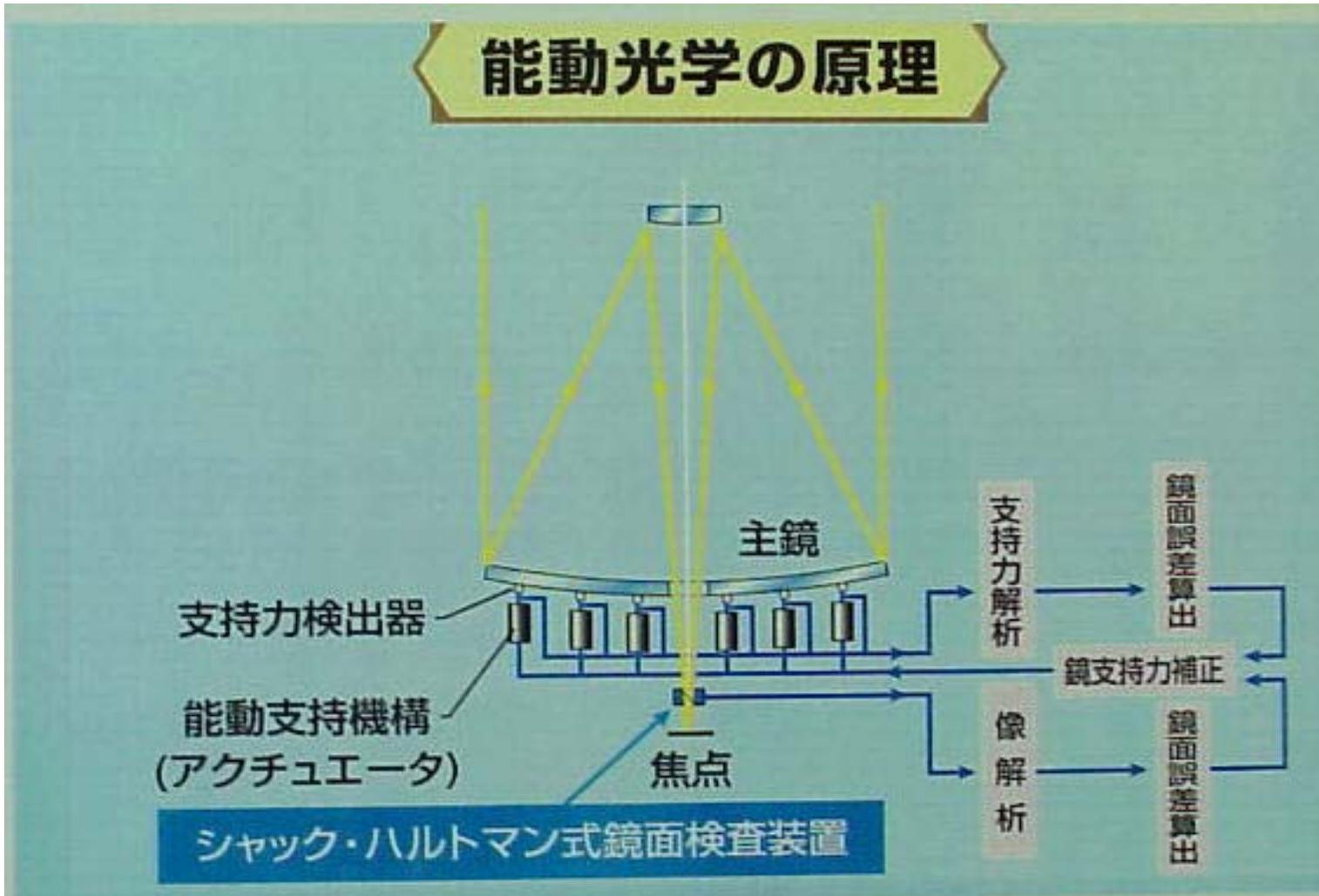
ハワイ観測所

- 文科省施設に外国設置の前例が無かった。
（在外公館以外では、フィリピンの慰霊塔、南極昭和基地ぐらい）
禁ずる国内法律は無かったが設置には法改正が必要。
- 赴任か出張か（人事院協議）⇒ 赴任OK（ハワイ手当他）。
- 「日本人村」を作らないよう官舎要求は控え、現地に溶け込むよう、
借家規定を柔軟化して対応（ハワイ規格との違い）。
- ハワイ観測所の法人格。日本大使館の出先機関(MSFG)の位置づけ
で免税措置。2004年の大学共同利用機関化で、**位置づけが変更**。
 - * 科研費でレーザー送信望遠鏡輸送時に関税で苦労（2006年）
 - * TMT国際天文台のようなNon-Profit Organizationとしての法人登録
や免税措置登録501(c)(3)はしていない。
- 次第にGEMINI、Keckコミュニティとの交流、国際的新装置計画・・・。

すばる先達の貢献・努力

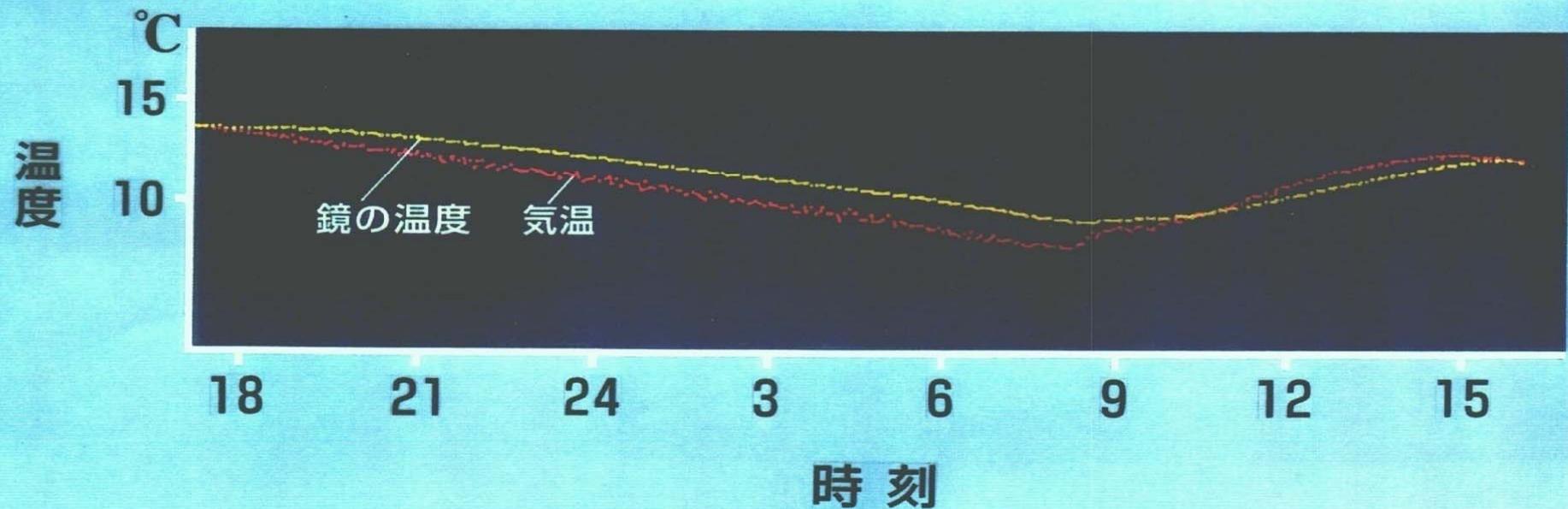
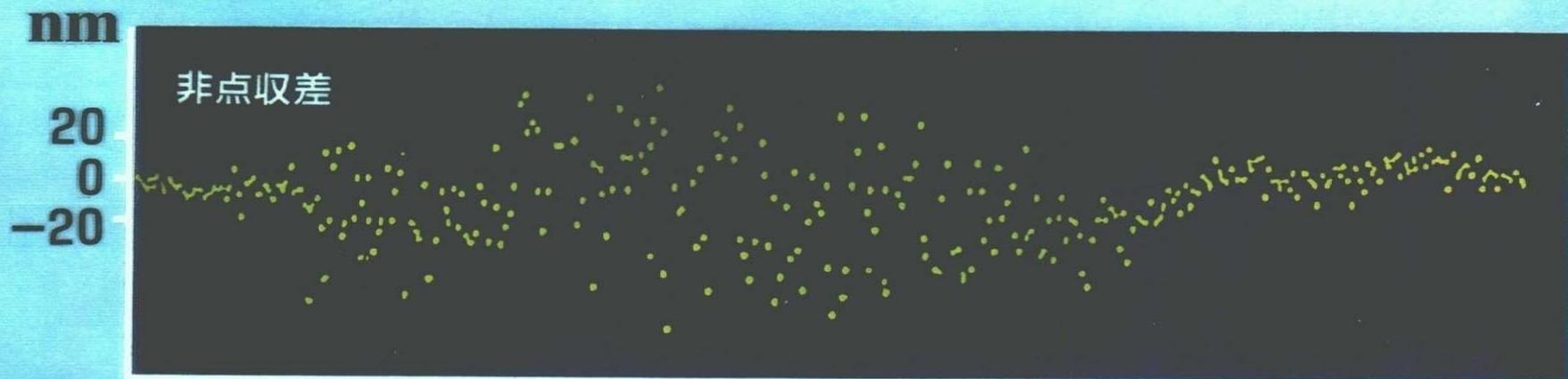
- 小平桂一：プロジェクト長として実現にリーダーシップ
- 古在由秀：国立天文台初代台長として概算要求に努力
- 小暮智一：光天連委員長として支援
- 山下泰正：ハワイと最初の接触、光学理論
- 成相恭二：光学設計、最初にハワイ赴任
- 唐牛 宏：概算要求実務とりまとめ、文科省パイプ、第3代ハワイ所長
- 岡村定矩：光赤外コミュニティをリード
- 家 正則：能動光学、計画プロモーション
- 安藤裕康：建設計画フォロー、第2代ハワイ所長
- 田中済、近田義広：光学系、制御系で建設計画フォロー
- 海部宣男：建設期責任者、8m化、初代ハワイ所長
- 野口猛、中桐正夫、宮下暁彦、沖田喜一：プロジェクト実務サポート
- 林 正彦：第4代ハワイ所長
- ほかに建設期からのメンバー、観測装置関係の功労者は多数
- 企業からも伊藤昇、三神泉(三菱)、武士匡男(キヤノン)他 (記録映画参照)

薄くて柔な鏡をコンピュータ制御 測って直す



夜暴れる鏡の謎？

ミラーシーイング（鏡からのかげろう）



問2. 並べ方

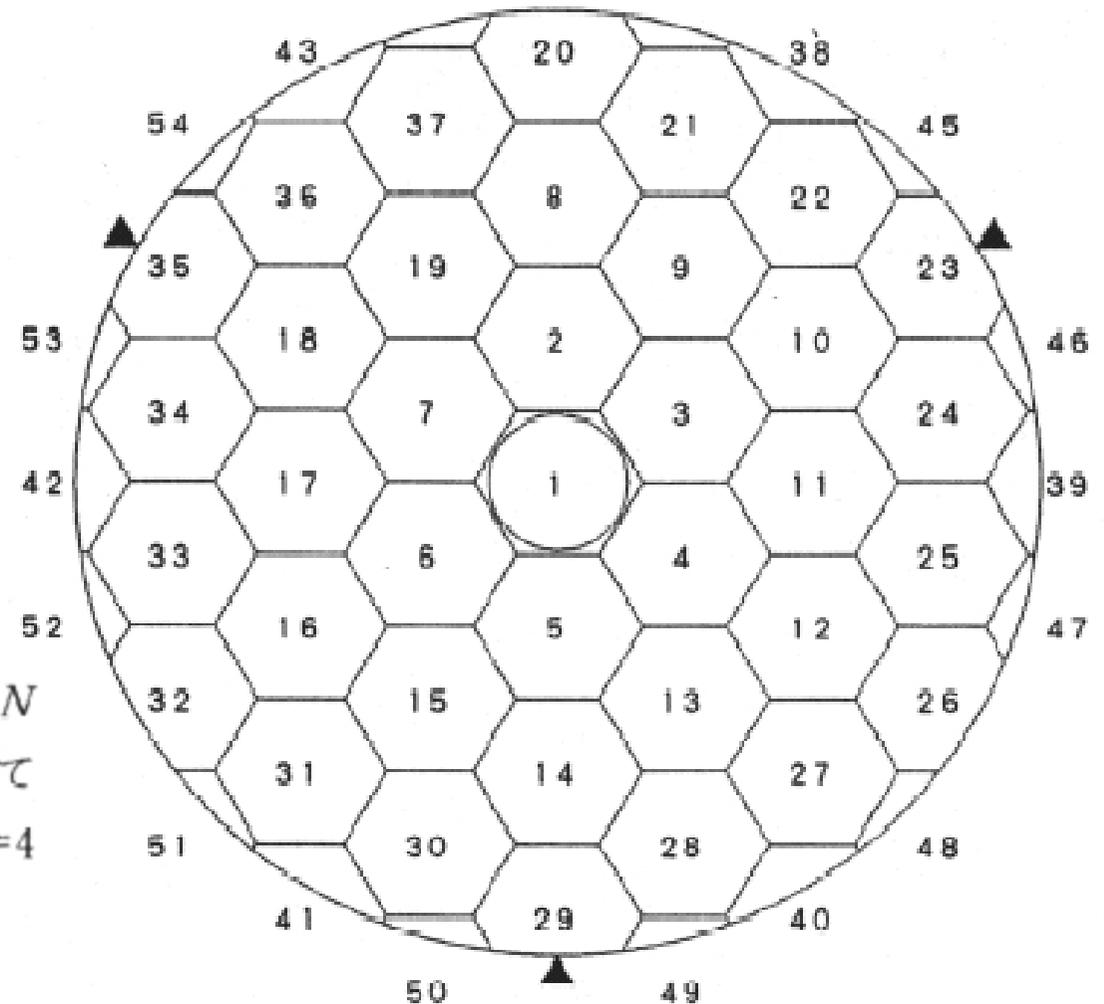
「すばる」の場合には、 $K=55$ であり、 $K!=10^{73}$ となつて、総当たり式に調べるのは不可能な組合せの数になる。実際には、ヘックスの置き換えにはいくつかの制約があつて、組合せの数は $K!$ よりも若干少なくなるが、すべての組合せを調べるのが不可能なことには変わりはない。

並べ替えの可能性

$$55! = 10^{73}$$

実際には 10^{62} 通り

137億年 = 4×10^{17} 秒



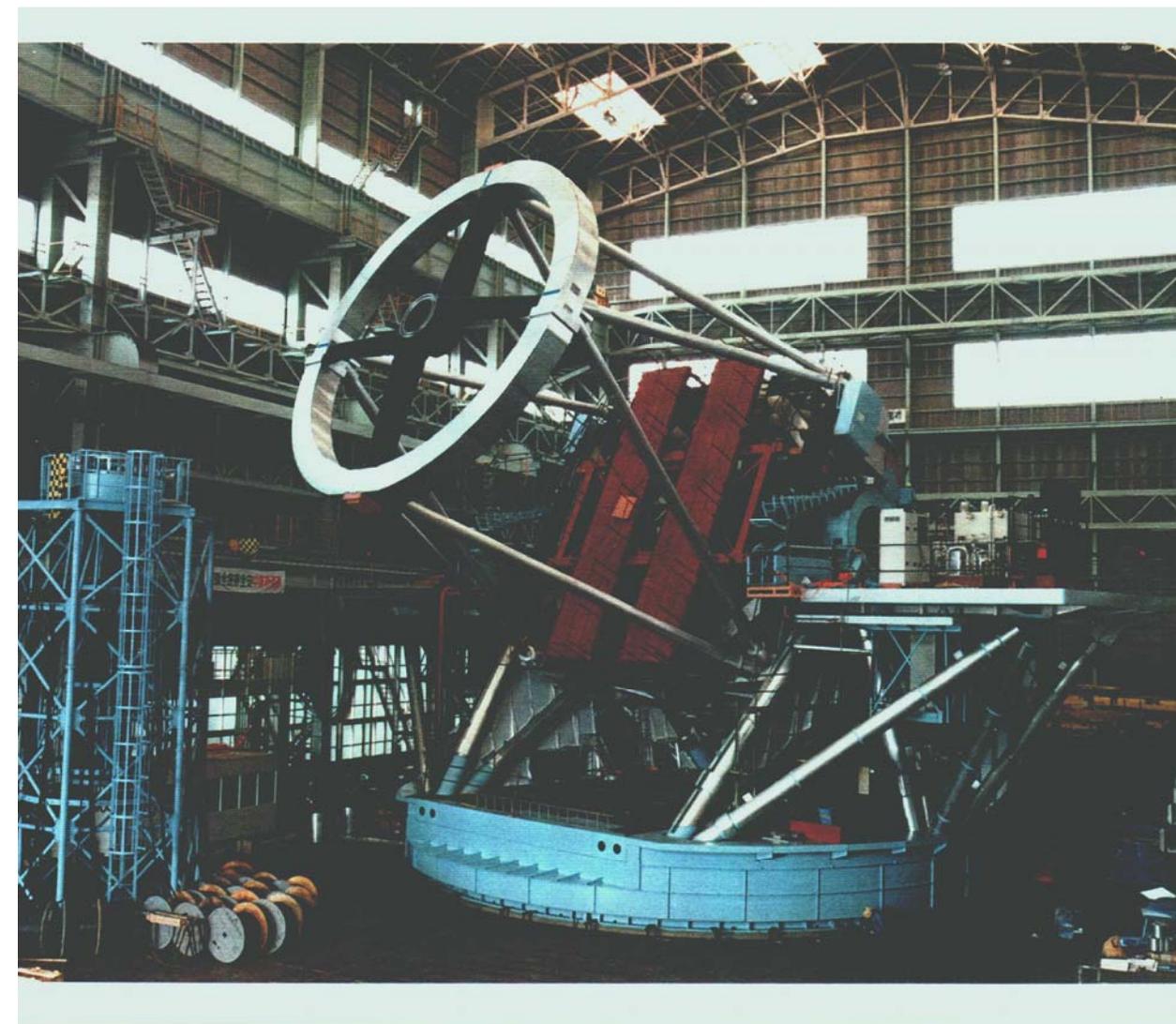
はめ込むべき位置の個数は $K=55$ 、ヘックスの枚数は $N=44$ で、分割しないヘックスと2分割および3分割して用いるヘックスの数はそれぞれ、 $N_1=37$ 、 $N_2=3$ 、 $N_3=4$ としてある。この場合の組合せの総数は、

$$\frac{(2N_2)!}{2!N_2!} \cdot \frac{(3N_3)!}{3!N_3!} \cdot N! = 5.3 \times 10^{62} \quad (23)$$

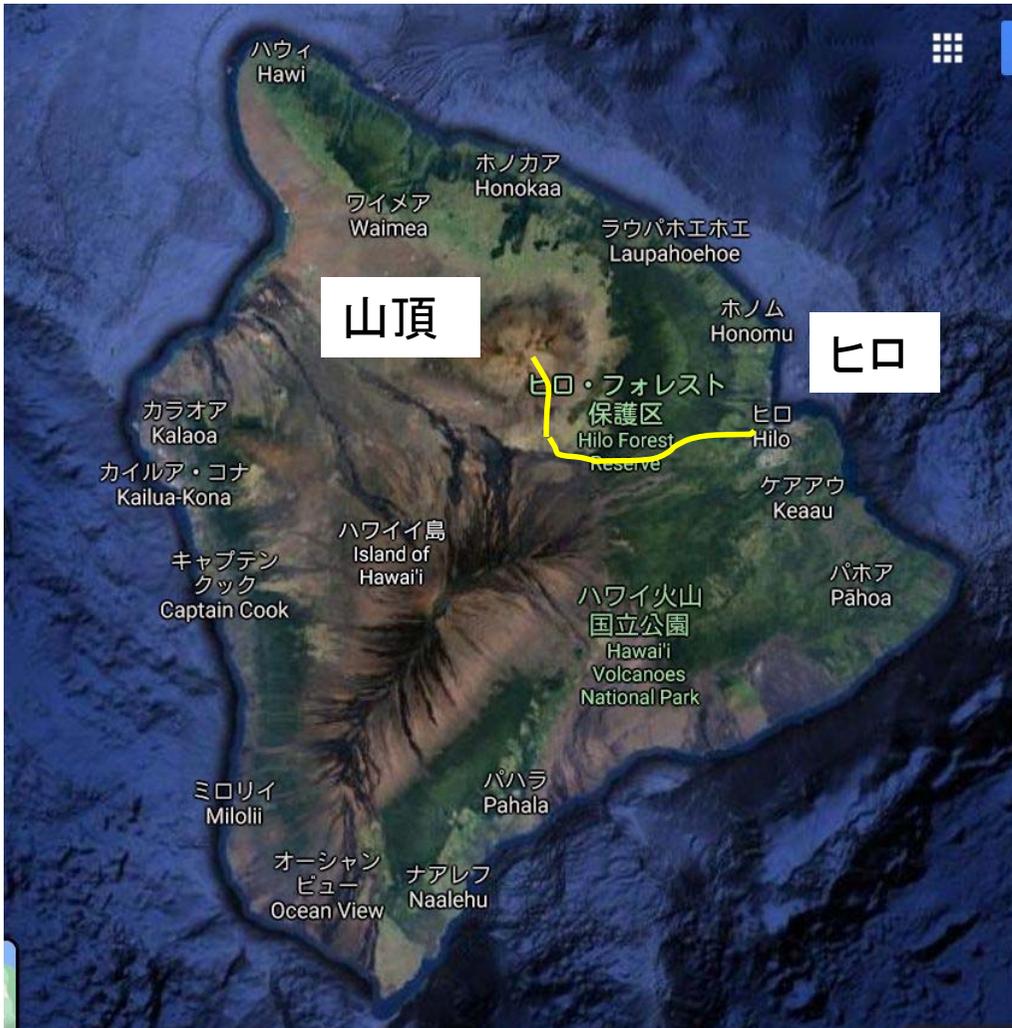
となり、対称性 (120° と 180° の回転および反転) を考慮に
 入れてもこの $1/6$ にしか減少しない

Division of the primary mirror blank and the location numbers

国内仮組(1995) => 山頂据付け(1998)



国立天文台ハワイ観測所



すばる建設記録映画「未知への航海」

2002年度5つの映画賞・ビデオ賞を受賞

同時受賞:「たそがれ清兵衛」 真田広之、宮沢りえ

