

次世代望遠鏡の影で

山本順司

SPring8をご存知だろうか．世界最高の放射光を発生させることができる実験施設である．和歌山カレー事件でヒ素を検出したことやはやぶさのカプセル内微粒子の化学分析で有名な実験施設だ．初夏はその大型放射光施設の課題募集の時期なので落ち着かない．以前から天然鉱物の熱膨張率を探る課題で応募したいと思っていたので，その申請書の準備のためもあって，世の中のいろんな物質の熱膨張率を探ってみた．当然の帰結であるが，ググっていくうちに興味の焦点はあれへと絞られていくのであった．

熱膨張率は「 $1/^\circ\text{C}$ 」という単位で表す． 1°C 温度が変わったらどれくらい歪むかという表現である（歪みは無次元（単位が無い）なのでこんな単位表現になる）．地球の石ころやガラスの熱膨張率は $10^{-6}/^\circ\text{C}$ の桁のものが多く（直径 1 m のガラス玉を 1°C 加熱したら直径が 1 ミクロン増えるというレベル）．地球は様々な種類の石ころでできているので，温度が変わると地球のあちこちに歪みが溜まり，その先には破壊（断層発生や風化など）が控える．そんな申請書を作成している最中にふと考えた．レンズの熱膨張率はどれくらいなのだろうか？キャノンのホームページで蛍石は $2.4 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ という値を見つけた．厚さ 5mm のフローライトレンズだと 10°C の温度変化で 100 ナノメートルほど厚みが減るという計算になる．「ちょっと厳しいかなあ」と思い始めた．なぜならレンズの研削精度は 10 ナノメートルに迫る時代なのに，それより大きな収縮が気温変化で起こりうるということだからである．そして，もっと過酷な環境で，且つ大きなレンズなら凄まじい影響が出るんじゃないだろうかと心配になってきた（おせっかいな話だか）．

で，すばる望遠鏡の主鏡について調べてみた．すると，なんと超低膨張ガラス（コーニング社製）というものが使われていることが分かった．熱膨張率は常用温度条件で $3 \times 10^{-8}/^\circ\text{C}$ という驚異的な値であった．すばる主鏡のレンズ径は市販望遠鏡の 100 倍くらいだが，熱膨張率は千分の一程度なので，市販望遠鏡より熱収縮の影響は小さいということになる．思わずうなずく．では，近い将来にすばるの近所に建設される Thirty Meter Telescope（30 メートル望遠鏡：TMT）だとどうなんだろうか？

いろいろ調べてみたところ，どうやら現段階では試作鏡の製作に成功したところといった感じのようだ．TMT では 1.5 m 径くらいの鏡を 500 枚近く組み合わせて主鏡を作ることだ．道はまだ遠い．試作鏡の熱膨張率は分からなかったが鏡作製メーカーであるオハラによると“ゼロ膨張ガラス”というものが使われるらしい．熱膨張率があらゆる温度条件でゼロなんていう物質は存在しないはずだ．どうしてゼロ膨張なんて表現が可能なのだろうか．いくら考えても分からない．一般的に物質は温度が上がると膨張する．ただ単に熱膨張率が小さい素材を開発したということなのだろうか？頭を抱えながら TMT のホームページを探っていると，500 枚の鏡を組み上げる際，隙間を 2.5 mm ほど空けるとの記述を目にした．“ゼロ膨張ガラス”に関する情報のすぐ近くに記されていたので，やはり“ゼロ膨張ガラス”なんて表現は誇張しているのだろうと得心した．

しかし事実は違うようだ．今度はレンズメーカーのホームページを探っていると，世の中には温度が上がると収縮する結晶が存在するとの記述を見つけた．このゼロ膨張ガラス

にはその結晶が析出しており、この負熱膨張結晶と低膨張ガラスの両者のバランスでゼロ膨張が達成されているらしい。思わずため息が漏れた。

楽しくなってきたのでもっと調べてみた。もっと過酷な望遠鏡。そうハッブル宇宙望遠鏡 (HST) の後継機とも言える、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) である。この望遠鏡、打ち上げに際して心配になる情報が山盛りだ (またもやおせっかいな話だが)。ハッブル宇宙望遠鏡が打ち上げられた時、しばらく観測できなかったことを覚えておられる方も多いだろう。この原因はレンズの歪み計に問題があったためだと公表されている。ハッブル宇宙望遠鏡の場合はスペースシャトルが到達できる距離 (高度 600 km) に打ち上げられていたので、後に人力で補修することができた。しかしジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡は赤外線観測を行うため、赤外線発生源でもある地球から遠く離れた静止軌道“太陽地球系の L2 点 (地球や太陽からの引力のバランスが釣り合った地点)” に打ち上げられる。打ち上げ高度と言って良いのか分からないが、地表 (球) から 150 万 km のかなたに打ち上げられるのである (ちなみに地球と月の距離は約 40 万 km)。しかもジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の主鏡は口径 6.5 m (ハッブル宇宙望遠鏡の主鏡は口径 2.4 m だったので大きな進化だ)。一枚鏡ではロケットに搭載できないので折り畳んで打ち上げられ、宇宙空間で展開し、それぞれの鏡の配置を微調整して一枚鏡に迫る機能に高めるとのことだ。そして、その次の情報に絶句した。展開テストを一度も行わずに打ち上げるらしい。ハッブル宇宙望遠鏡では歪み計の不具合だけで長期間観測不能に陥った。今度は L2 点である。展開後に歪み調整の不具合があったら致命的であろう。しかも、地表と宇宙空間の温度差は 300 度近い。一体どんなガラスが使われているんだろうか？そしてなぜ展開テストを行わないのだろう？

不安と期待を織り交ぜつつ探索を進めたところ (おせっかいが続く)、拍子抜けした。なんとガラスは使っていないとのこと。ベリリウム。なぜなんだ？そんなに熱膨張率が低いのか？調べてみたら室温でのベリリウムの熱膨張率は $1.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。蛍石の熱膨張率 ($2.4 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$) とそんなに違わない。おかしい。ベリリウム製主鏡については NASA の宣伝ページには軽量で堅牢という記述しかない。絶対おかしい。で、関係機関のサイトを深く深く探査していった (本人は国家機密を探っているつもり)。探ること一晩 (途中でぐっすり眠ったが) NASA のジェット推進研究所のホームページを探っていたらとうとう見つけた！ “Infrared Telescope Technology Testbed primary mirror test results (赤外望遠鏡技術叩き台 主鏡テスト結果)”。出版年は不明。ただし 21 世紀に出版された関連論文が一つも引用されていないのでどうやら 20 世紀末の報告書らしい。読んでみた。なるほど！そういうことだったのか。マイナス 200 度以下の環境では、ベリリウムの熱膨張率はなんと $1 \times 10^{-9}/^{\circ}\text{C}$ ！すばる望遠鏡主鏡の $3 \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$ なんて比較にならない。

折畳み主鏡の展開テストを行わない理由の一端も見えてきた。ベリリウムは室温では比較的脆い物質なので地表環境にはさらしたくない。だから主鏡作製は液体窒素温度 (-196°C) で行う必要があるのではなからうか。この判断には歪みの点でも大きな利点がある。そう、冷やしたまま打ち上げてしまえば宇宙空間は極低温なので主鏡はほとんど収縮しない。歪みを補正する必要もない。テストも必要ない。ああため息が止まらない。

次々に生み出される次世代望遠鏡の影で、多くのプロジェクト X が垣間見えた。探求心とド根性を備えた人類にとって宇宙は狭過ぎるフロンティアなのかもしれない。