

# 最強の太陽サンサン湯わかし器の設計

県立柏陽高等学校 山本明利

NHK「科学大好き土よう塾」の制作担当から依頼を受け、太陽熱温水器を設計した。同番組の「太陽サンサン湯わかし大作戦」シリーズの総集編で、子供達の挑戦のお手本として見せたいとのことだった。依頼内容は「10ℓ、500mlの水を太陽熱だけで30分以内に沸騰させること」だった。VTRの収録日は2004年5月15日、予備日は一日しかとれない。製作期間は約一週間。折から走り梅雨で天候不順の中、不安をかかえながらも受けて立つことにした。

## 1. 必要な熱量の計算

10ℓ、500mlの水を100℃まで加熱するのに必要な熱量は

$$mc \Delta t = 500 \times 1 \times 90 = 4.5 \times 10^4 \text{cal} = 1.9 \times 10^5 \text{J}$$

である。

次に、この熱量を確保するために放物面鏡を用いることとし、その開口面積を求める。はじめに、理科年表で5月の正午の直達日射量瞬間値の月別平年値を調べた。東京の観測はないので、比較的近い松本の値、 $S = 0.84 \text{kW/m}^2$ を採用した。

放物面鏡の半径を $r$ とすると、毎秒受熱量は

$$S \cdot \pi r^2 = 0.84 \times 10^3 \times 3.14 \times r^2 = 2.6 \times 10^3 \times r^2 \text{ W}$$

である。30分間では

$$2.6 \times 10^3 \times r^2 \times 30 \times 60 = 4.7 \times 10^6 \times r^2 \text{ J}$$

となる計算である。これを前述の $mc \Delta t$ に等しいとおいて $r$ を求めると

$r = 0.20 \text{m}$ となる。理論上は直径40cm程度でも必要な太陽エネルギーを集光できることになる。

しかし、鏡面の反射率は100%ではないし、逆に水を入れる容器の反射率は0ではない。温まった容器からの熱の散逸も考慮しなければならない。さらに東京の空の透明度や、当日薄雲が出た場合も想定して、最終的には10倍程度の安全係数を見ることにする。面積10倍、半径3.16倍に近い、きりのよいところで、 $r = 0.70 \text{m}$ すなわち直径1.4mの放物面鏡を製作することにした。

## 2. 放物面の設計

放物面鏡は、安全のため焦点が凹面内におさまる必要がある。直径1.4mの開口面の中心にちょうど焦点が来るように設計する。原点に頂点を、 $y$ 軸上に焦点をもつ放物線を考えると、その焦点距離 $f$ は

$$y = ax^2 \text{ のとき } f = 1 / 4a$$

である。 $x = 0.70 \text{m}$ のときの $y$ の値と $f$ が等しくなるようにすればよいから

$$1 / 4a = a \times 0.70^2$$

を解いて、

$$a = 1 / 1.4 \quad f = 0.35 \text{m}$$

を得る。この値をもとに放物面鏡の曲線をエクセルで計算し、グラフ用紙上にプロットして型紙を起こした。

### 3. その他の対策

鏡面はミラーシートを塩ビ板に貼ったものをカットして、台板上に放射状に立てたりブに両面粘着テープで貼り付ける。集光率を上げるため、できるだけ滑らかで精度のよい鏡面を作るように心がけた。実際の工作は美術担当に設計図を渡してやってもらった。

容器には黒く熱伝導のよい金属容器が適している。制作スタッフが東急ハンズで手頃な鉄瓶を調達してきてくれた。熱の散逸を最小限におさえるため、容量は500ml よりあまり大きくないことが望ましい。入手したものはちょうどよい大きさだった。また、容器には必ずふたをすることとする。もちろん水蒸気の蒸発による熱損失を抑えるためである。鉄瓶にはもともとふたが付属しているので都合がよかった。

最後に、太陽光線を正確に焦点位置に導くため、鏡面を常に太陽に正対させる必要がある。このため台板上に面に垂直な棒を立て、その影がなくなるように台板ごと動かすことで手動で太陽の日周運動を追尾した。

そのほか、風が吹く場合に備えて、ラップで水面をおおい蒸発をおさえる、容器全体を透明容器でおおって風防とする、などの対策も講じていたが、当日は風が弱く実際には使われなかった。



**写真1** 太陽熱湯沸器全景

開口中心に焦点が来るように設計してあるので、その位置に鉄瓶をつるす。

台板の右上に立っている棒が、太陽方向に正しく向けるための照準。棒自身の影がなくなるように、5分ごとに向きを微調整する。

**写真2** 焦点に置いた鉄瓶

鉄瓶の下半分には放物面鏡で反射した光が集中し、まぶしいくらいである。

10分、500mlの水は5分余りで沸騰した

鉄瓶の口にはサーミスタ温度計がさしこんである。



#### 4．実験結果

実験シーンのロケは5月15日(土)にNHK放送センターの屋上ヘリポートで行った。当日は午前中よく晴れていたため、工作シーンの撮影を後回しにしてとりあえずお湯を沸かすことにした。

結果として、10、500mlの水はわずか5分余りであっけなく沸騰し、スタッフを驚かせた。

さらに焦点位置に新聞紙をかざすと、あっというまにメラメラと燃え上がり、太陽熱のパワーをあらためて実感した(写真3)。このシーンは、刺激が強すぎて安全を訴える意味では逆効果であろうとの判断でオンエアはされなかった。

実験の成功には当日の東京の天気と空気の透明度の良さが幸いしたと思う。しかし、撮影を終了するころには案の定、薄雲が広がりはじめ、夕方には空は厚い雲に覆われていた。針の穴を通すような撮影計画の中で、実に幸運だったといえる。

当該シーンは、6月5日のスタジオ収録を経て、6月19日に無事オンエアされた。

**写真3** 焦点に新聞紙をかざすと燃え出す



#### 5．参考文献

理科年表(平成15年版) 丸善、2003

工房あまねのWebページ <http://w2.avis.ne.jp/~amane/>

工房あまねはパラボラ型ソーラークッカーのメーカーである。Webページには性能比較データも示されていて大変参考になった。同社の製品は完成度が高く、実験教材としても注目すべきものである。

2004/08/21