

ソーラークッカーの国内外での活用

Application areas of the solar cookers inside and outside Japan

中條祐一*

1. はじめに

ソーラークッカーを知り、学生と競技会用に初めて1号機を作ってから今年でちょうど30年となった。初めて炊きあがった白米に学生たちが上げた歓声は、今でも鮮明に頭の中で再現できる。そして同じようなその歓声を幼稚園児から一般市民にいたる様々な年齢層から、30年間に亘り聞き続けている。

1997年に本学で開催された日本技術史教育学会全国大会で、熱工学の大家である故一色尚次先生が基調講演をしてくださった。そのとき、お話を締めくくるかのように「今後は世界的にソーラークッカーが重要な研究分野の一つになる」とおっしゃったのを衝撃的に受け止めた記憶がある。当時まだ教材としての可能性にしか気づいていなかった私には、大変大胆な予言に思えた。

私がソーラークッカーを取り扱い始めた理由は、上述の通りソーラークッカーが持つ教材としての高いポテンシャルを学生の反応から感じ取ったからだ。研究を始めて数年して海外で発表した際に「教材」で終わってはいけないという指摘を複数から受けた。国内では教材以外の用途は思い描きづらく、あるとすれば防災とレジャー程度と想っていたが、一色先生の予言もあり、方向性が合っているのかを再考するようになった。本稿では教材、途上国支援、防災の3つの視点からソーラークッカーについて実際の経験から紹介したい。

2. 原理と種類

この学会誌で述べるまでもないが、中学で習うように熱の移動には放射・伝導・対流の3つがある。これらをうまくコントロールして調理部の温度を上げるのがソーラークッカーであり、どの部分に重点を置くかで種類が分かれてくる。まず放射であるが、

太陽から来るエネルギーの形態自体が放射であるし、損失としての鍋からの放熱もあれば、鍋の内側で食品に対して放射で伝わる熱もある。伝導により鍋から食品に伝わる熱があれば、伝導により鍋から接触部を通して逃げる熱もある。液状食材や庫内の空気の対流もあれば、鍋が露出している場合に熱損失の大半を占める対流熱伝達もある。

対流や伝導による損失を極力抑え、庫内の温度を上げてオープンのように調理を行うタイプを箱型ソーラークッカーと呼ぶ。ソーラークッカーの歴史では最古となる Saussure による 1767 年の太陽熱調理はこのタイプによるものであった。典型的な形状としては断熱された2重の箱、上面の透明な採光部、蓋を兼ねた補助反射板（ブースターミラー）から構成される。（ブースターミラーがなくても調理できる場合があり、実際 Saussure の使用したのものにはブースターミラーはなかった。）一方集光型と呼ばれるタイプは放射をコントロールすることに重点を置き、パラボラ、あるいはそれを近似した多面体ミラー、また稀ではあるがレンズなどを用いて集光した光を鍋に当て、加熱する。通常集光するタイプのソーラークッカーには保温のための仕掛けを設けないことが Solar Cookers International (SCI) の指針となっている。調理途中で食材や調味料の追加、攪拌を可能とするため（つまり様々な食文化に対応するため）と思われるが、後述するテルケス型、真空管型の存在により形骸化しつつある。鍋が露出している場合、熱損失の大半は対流熱伝達によるものであり、これにより太陽から得られたエネルギーの約40%が無風でも失われるという報告がある。寒風が吹く中であれば鍋（あるいは熱負荷としての食材）に対し十分な大きさの反射板がないと、調理温度以

* 足利大学 総合研究センター長 機械分野教授

下で熱平衡に達してしまい、いつまで待っても調理できないという状況になる。一方集光の精度さえ確保できれば大きな反射板で受けた光のほとんどを鍋に当てることができ、圧倒的な火力を誇るのも集光型である。集光型の温度上昇は高温になるにつれて頭打ちになる傾向がある、つまり周囲温度との差が大きくなるにつれて熱損失も大きくなるのに対し、十分に断熱された箱型では比較的直線的に温度が上昇する傾向がある。

集光型は十分な火力を得るために大きな反射板を持ち、精度も必要となる。焦点があるため、焦点距離にもよるが、比較的頻繁な角度調整（例えば15分ごと）が必要となる。風に対する転倒対策をするか、過度の強風のときには使用しないなどの対策も必要である。一方火力が十分であれば使用方法は一般のガスレンジと変わりなく、簡単に焼き目を付けることもできる。頻繁な調整が必要ではあるが、調理時間自体が短いので回数は他のクッカーと大差ない。箱型は典型的な形状で作ると日本の冬には機能しない。これは気温のせいではなく、太陽高度が低いと庫内に誘導できる光の量自体が夏に比べて半減するからである。ブースターミラーの枚数や箱形状を低い太陽高度に対応できるように変更すると日本の冬でも機能する箱型が作れる。

箱型の利点は頻繁な調整（方位とブースターミラーの角度調整）を必要としないことであるが、調理時間も長い（例えば1時間～2時間）ため調理の完了までには1、2回の調整が必要になることが多い。ブースターミラーを畳んでも箱の形状が比較的嵩張る。長所は多少の日射量の変動には影響されに

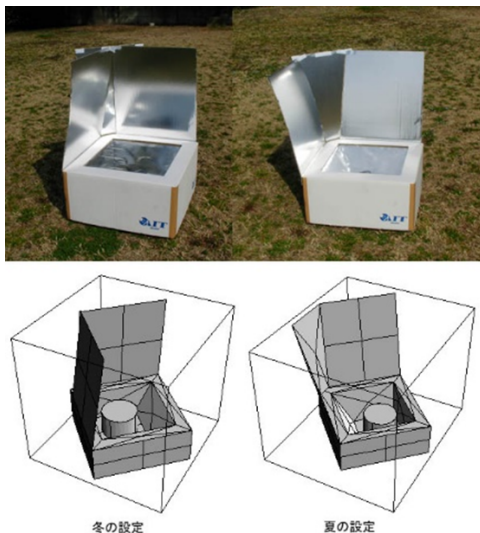


図1 低い太陽高度にも対応できる箱型 (Educokker001)

くいこと、長い時間調理しても焦げ付くようなことがなく、じっくり加熱することができること、特定の焦点がないので加熱力が維持できるなら庫内に複数の鍋（異なった料理）を配置できることなどである。

上記の集光型と箱型の中間的なクッカーも存在する。図2のように、箱型のしっかりした保温性、集光型の高い集光性を両方取り入れると、米国でポピュラーなテルケス型となる。両方の利点を持つ反面、敏感な指向性、嵩張る本体など両者の欠点も併せ持つ。

一方、両者の特徴を大雑把に取り入れたものもある。集光性は数枚のパネルによる粗いパラボラ近似で妥協し、保温性はビニール袋を温室代わりに使った簡易な保温で妥協する。この妥協の産物がパネル型である。しかし箱型より高い集光性を持ち、ビニール袋一枚であるが集光型のように無いよりはるかに効果的な保温性をもつ。その結果、もちろん大きさや性能にもよるが、箱型でも集光型でも調理できないときにパネル型だけ調理に成功していた、というケースもあった。（天気により箱型だけ、あるいは集光型だけが成功することもある。）何より大雑把に両者の利点を取り入れたため、形状が簡素になり、コンパクトにたためるようにもできる。また素材は段ボールのようなものでも良く、全体の値段が安く作れる。集光型の強い指向性はなくなり、太陽がある程度動いても無調整で加熱力を維持できる設計が可能となった。（この性能は制御工学の用語を拝借してロバスト性と呼ばれる。）一度太陽に向きを合わせれば、調理が完了するまで再調整なしという使用ができる。

世界的には上記のように4種類とするのではな

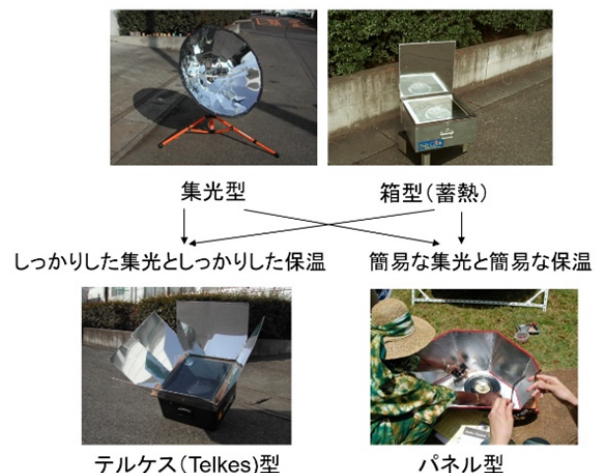


図2 各種のソーラークッカー

く、テルケス型も箱型に含めて3種類とする分類が一般的である。最近ではこの3種類に加えてどのタイプでもない真空管型が流通し始めている。中国が太陽熱温水器用の真空管を短くし、安価でソーラークッカー用に販売し始めたのが引金となっている。箱型以上の保温性を持ち、トラフ型の反射板と組み合わせることでコンパクトに加熱力の高いソーラークッカーを組み上げることができるが、ガラスの本体が扱いづらいという欠点もある。

SCIはこういった分類、性能評価基準、製品紹介、活動報告などを国際規模で主導的に取りまとめる機関であり、不定期に数年に一度国際会議を開いている。

3. 集光率と集光係数

ソーラークッカーの性能を評価するには、反射板の受けた光の何パーセントが鍋に当たっているのかを評価すれば良いとほとんどの人が思うであろう。確かにこれを集光率と言って差し支えないが、鍋に与えられるエネルギーの量は反射板や鍋の大きさによって変わり、集光率が100%であっても調理できるかできないかは予想できない。もちろん、集光性能の評価にはなっている。これに対し、集光係数(圧縮係数)という考え方がある。鍋単体を日中に晒したときに受ける光を基準とし、ソーラークッカーを使うことによりその何倍の光が鍋に当たるようになったかを評価する。これが10であれば、仕掛け無しで日に晒した場合の10倍の光が当たっていることを意味する。鍋形状や太陽高度により同じソーラークッカーでも値は変わるが、大雑把に加熱力を把握することができる。鍋単体では1である。ブースターミラーを1枚持つ箱型であれば、集光係数はせいぜい2ということになる。保温にビニール袋を使ったパネル型では、経験上5~6の集光係数があれば1年中十分機能する。一方集光型では、それらしい加熱力を期待するには、20以上は必要になる。円形のパラボラ型反射板で受けた光がすべて鍋に当たるとして、反射板の直径の1/4程度の直径の鍋を使用すると概算で集光係数は16となる。この程度でも無風であれば調理できることもあるが、わずかな風を受けても調理温度以下で熱平衡になることもある。したがって使う鍋に対し、5倍以上の直径の反射板は欲しいところである。こういった集光特性はレイトレーシングにより計算している。

4. 教材としての使用

2006年、佐野市教育委員会の企画する小中学生合同のアドベンチャーキャンプにて生徒が個々に製作できるソーラークッカーを提案して欲しいということで、反射材付きの段ボールで簡単に作れるパネル型ソーラークッカーを提案した。90分で1合の白米が炊ける性能があり、二人組で片方がご飯、片方がカレーを調理することで子供なら1食分になるカレーライスが作れるという設計方針であった。組み立て、設置の良し悪しで性能が大きく左右される点が予想以上に面白く、後にEducooker002として製品化した。さらに多少大きくし、平面に折り畳めるように設計し直し、2008年にEducooker003を製品化した。003では年間を通じて2合程度の白米を炊飯することができる。その他JSTの実施したサイエンスキャンプ(2006年~2012年)、市内の小中学校、近隣の中学、高校などに行っている出前授業、高校生や市民に対して行っている体験型授業など、年間約40件程度の学外向け授業でソーラークッカーを使ってきた。(現在はコロナのため件数は激減している。)

市内の小中学校に対する出前授業については、2016年からは足利市環境政策課が窓口となって行っている。理科の授業が始まり、太陽光(太陽熱)の実験も含まれる3年生に対しての授業が依頼されることが多い。そして実は小学生は意外とソーラークッカーを知っている。3年の教科書、副教材にソーラークッカーが掲載されているものもあるからである。QRコードから動画が見られるようになっているものもある。本学のパネル型ソーラークッカーも教科書、副教材に使用されている。一方で実際の授業では生徒たちは数十年前と変わらず、手鏡を持って運動場に出て光の直進性、反射、集光させた場合の温度上昇などを実験している。その手鏡との関連



図3 考えた形にセットする小学生たち

で使用するには、数枚の多面体構成となっているパネル型が関連付けやすいのだろう。QRコードの動画でも、実際に生徒に実験させる場合でも、調理温度まで上げることはしない。敢えて時間は30分程度とし、子供が取り扱いを間違ってもやけどなどの怪我につながらないように配慮している。逆に子供が直接手を触れることがない実演では実用的な調理器としての性能を見せて印象付けている。

小学校高学年に対しては季節と太陽高度の関係にも大雑把に言及する。鍋にどのような色を使った方が良いかなども生徒はすでに学んでいる。

中学では学年にもよるが前述のように熱の移動について学ぶ。また天体についても学ぶので、季節、時間、緯度、太陽高度と関連付けたクッカーのセッティングをより詳細に説明できる。高校生ではそれらを簡単に復習した後、課題研究などで各種ソーラークッカーを段ボールで製作するようなワークを含めても面白い。

そして、理科とは離れるが、世界には依然バイオマス系燃料を必要とする人が全人口の半分いること、室内でそういった燃料を使うことで年間何百万人も人命が失われていること、燃料としての伐採で森林が減少していること、燃料の価格は高く、手に入らない人も多いこと、そういった人たちがソーラークッカーをどう受け止めてくれているか、逆に導入にどのような問題があるのかなどをすべての学年の生徒に伝えている。

またソーラークッカーで普段食卓に並ぶような料理が実際にできると示す必要もある。昨年1年間かけて、太陽熱調理が日本で何日間可能かを実験した。休日ではできたての料理の写真が撮れるが、ウィークデーは朝セットしてそのまま通勤し、帰宅後に出来栄を確認し、写真を撮ってから電子レンジで温め直して食するという方法を取った。なんと日本でも1年間で200日以上、ソーラークッキングが可能であった。その証拠はすべてInstagramに残している。これは一日の日射量のうち、直達日射量が平均で $700\text{W}/\text{m}^2$ を越える時間が連続で2時間ある日をソーラークッキング可能とカウントするという方法で調べた日数と良く一致する。（ $700\text{W}/\text{m}^2$ はSCIがソーラークッカーの機能すべき日射量として定めている値。）

一方いまだに各段階の子供にとって何が正解なのか悩むときもある。例えば小学生はいくら明るい屋外で鏡の実験をしても太陽からの光を直接見ていることにはならないのに、太陽光は直進していると

言っているのだろうか。手鏡で10mも離れた壁に反射光を当てればすぐ違うと分かるはずだが、太陽光は平行だと言っているのだろうか。鏡はなぜ銀色なのですかと聞かれて、あるいは黒はなぜ光を吸収するのですかと聞かれて、目に届いてそう見える色に後から名前を付けたという説明で子供たちは納得できるだろうか。また銀色を色と言っているのだろうか。（鏡面反射、乱反射は中学で学ぶ。）見上げる角度を高さと教えて良いのだろうか。また12時に太陽が一番高く上がると言っているのだろうか。温度だけでは出力を評価できないことはどの段階から教えて良いのだろうか。ためらいながら答えても子供のころには残らない。

5. 途上国での使用

2013年にエチオピアの調査をJICAプロジェクトとして行ったときの報告を2016年に本学会誌に掲載していただいた。エチオピア調査の詳しい内容はそちらを参照していただくこととし、ここではその他の国との違いなどを比較したい。

5.1 2006年パキスタン

2005年に大きな地震があり、2006年に入っても多くの方がテント村での生活を続けていた。パキスタンに拠点を置いて人道支援を行っている日パ・ウェルフェア・アソシエーションの督永忠子氏からの依頼で、簡単に製作できる集光型ソーラークッカーの試作機、図面を持ってイスラマバードのテント村を訪れた。トタンと針金で反射板を作り、それにアルミホイルをでんぶん糊で貼付するつもりで部品を持って行ったが、到着してみると台所で使うようなアルミホイルは売っていない。しかたなくトタン板の表面のまま使用したが、それでも「これはいくらか」と聞かれることが多かった。更に意外だったのは表敬訪問した再生可能エネルギー技術局にも、イスラマバードで開催されていた技術見本市にもパキスタン製集光型ソーラークッカーが展示されており、未知の技術ではないにもかかわらず、日本から来たということでもどの実演場所でも大変歓迎されたことである。アルミホイルはなかったが、表面の平滑度が高いステンレス板は金物屋で簡単に入手でき、最初からこれで作ってくればと悔やまれた。

5.2 2007年ケニア

植林を進めるボランティアがソーラークッカーも合わせてケニアに紹介したいということで、ビニールプールの素材で中空体の凹面鏡を開発したグループを補佐する形で本学も参加した。せっかくなので

パキスタンに持って行ったものを更に簡素化し、ステンレス板で反射板を作った集光型ソーラークッカーも携えた。それを売るという目的ではなく、分解したものと組み立てたものの2セットを用意し、簡単に作れることを伝えたかった。農業見本市とTICAD IVのプレ会議で展示、実演すると、帰国後大学に500台の注文が来た。当時表面の平滑度の高いステンレス板はナイロビでも入手できず、それも注文につながった理由の一つだと思う。皮肉なことに家庭用のアルミホイルはスーパーで売っていた。注文に対しては見積もりを送ったが、当然先方の納得できる金額ではなかったため、キャンセルされた。

5.3 2013年エチオピア

前述のとおりエチオピアについての詳細は既に発表済みであるので、興味のある方はそちらをご参照願いたい。簡単にまとめると、都市部、難民キャンプ、農村部で調査を行い、農村部での需要が大きいかと思いきや、実際には非常に興味を持ってもらったのは都市部と難民キャンプであった。前回2回の教訓を活かし、ソーラークッカーは集光型ではなく、完成品としてのパネル型を用意し、これが販売という形で普及できるかどうかを調査する目的であった。難民キャンプは場所により支援の度合いに差があり、我々が訪れた難民キャンプはそれほど物資の供給が不安定な場所ではなかったが、それでも強風対策、大きさの見直しの2点の改良後、ほぼ全員が欲しいと回答している。ただし、難民キャンプでは難民自体が購入する訳ではない。都市部では中流家庭にアンケートを行ったが、高額な燃料代に苦しんでいるようで、購入意欲が高く、25ドル以下なら欲しいと言われた。エチオピアの一人当たり名目GDPが500ドル程度であったことを考えると、

十分な商品価値を感じてもらえたのだと思う。ただし、こちら側としてはこの値段で何とかかなりそうな見通しが立ったのはつい最近のことである。

5.4 2017年コートジボワール

東アフリカにはかなり足しげく通ったが、西アフリカは全く経験がなく、しかもフランス語圏ということで研究室のコートジボワール人留学生の同行が非常に助かった。この学生が開発したより集光性の高いパネル型ソーラークッカーが、コートジボワールでどう受け止められるかを調査する目的であった。対象は女性生活向上を目指してキャッサバを材料に主食のアチェケという発酵食品を作る団体で、天日でキャッサバを乾燥させるという手順があるため、天候を読むことに熟練していると予想したからである。ここでは非常に面白いことが分かった。改良したパネル型ソーラークッカーは従来型に比べ、約1.4倍の性能があった。当然こちらが好まれると思ったのであるが、調節箇所は従来型が1か所なのに対し、改良型は2か所あった。5台ずつ用意した新旧のソーラークッカーで同じ食材を調理してもらい、でき具合を比較すると、最初のうちは従来型の方が成功率は高かった。慣れてくると改良型でも同じ出来栄となり、しかも調理時間は短かったのだが、アンケートの結果、彼ら全員が好んだのは従来型であった。また、大学、工業高校、女子中学など様々な教育機関で実演を行った結果、途上国であっても教材としてのソーラークッカーに非常に期待しているということが分かった。工業高校の教員たちは紹介した訳でもないのに後日私の日本語の方のホームページを参照し、「段ボール箱ひとつから簡単に作れるパネル型ソーラークッカー」を作って調理したものの写真を送ってきてくれた。



図4 テント村での集光型ソーラークッカー



図5 改良型と従来型のクッカー

5.5 2021年タンザニア

コロナの影響でタンザニア人留学生を単身で送り出した形であるが、同様の調査をタンザニアに対して行った。タンザニアはケニア同様、レジ袋のようなものは現在一切使われていない。パネル型ソーラークッカーで使うビニール袋は、ソーラークッカーの一部と謳うことで使用できるとは言っていたが、使わないに越したことはないので、少し値段は張るが、ポリカーボネート製のダン普拉で底面のない直方体を組み立てた。これを鍋にかぶせることでビニール袋の代用になる。更に、普及にはより小さく畳めた方が良いということで、折り目、切り目を増やし、コンパクトにたためるバージョンも用意した。また、GPS機能、時計機能を利用して使用する場所でおおよその調理時間を入力すると最適なセッティングを指示してくれるスマートフォン用アプリも開発し、それが海外（タンザニア）でも機能するかを確認した。都市部（首都）、郊外、教育機関など場所を変えて、実演、説明を行った。手応えにはむらがあるかと思っていたが、どこでも好意的に受け止められたそうである。また、いくらなら購入するかと聞いたところ、回答の平均は35ドル程度だそうで、10年近い時間差を考えるとエチオピアとほぼ同程度の値段と言える。

その他、知り合いに持って行ってもらって調査した国もあるが、いずれにしても行って見ないと日本では想定し得ないような状況もあり得るということが良く分かった。置き土産を置いてくるだけの調査は観光旅行とよく言われる。実際、5年間カウンターパートだったケニアの大学にはそういった遺物が散在していた。何とかして彼らのための製品につなげ、いずれは製造もバトンタッチしたいと願っている。



図6 箱から変形するパネル型

6. 防災用品として

以前はソーラークッカーが防災用品になる、という説明をすると、「必要なときには（天気や時間に関係なく）必ず使えるものでないと防災用品と言えない」と門前払いを受けた。今は、使えるときに配給されたおにぎりや飲み物が温められるだけでも需要はある、と思ってくれる人が多い。それだけ被害が身近になっているということだと思う。防災用品を梱包している箱がソーラークッカーに変形するというものも提案したことがある。ただし、正しい使い方は事前知っている必要がある。東北の震災時にも活動家たちの依頼で数か所に200台近いソーラークッカーを送ったが、ほぼ反応はなかった。被害を受けて困っているときにいきなり見たこともないものを使えと言われても、そんな気にはなれないであろう。そのような意味でも、認知度を上げるための教育活動は必要だと感じている。

7. おわりに

パネル型ソーラークッカーは製品化できる、と言ってくれたのは教材も扱う地元の商社、昭和理化学器械株式会社であった。実際に作ってくれたのはやはり地元の大木紙業株式会社であった。海外向けのパネル型を作る協力をいただいたのは研究部門が足利に近い東洋アルミニウム株式会社であった。足利市内の丸信金属工業株式会社にも教材開発で協力していただいたし、足利市役所のお世話にもなっている。大学だけでなく、近隣のいろいろな人たちのご支援があり活動を続けられている。この紙面を借りて、お礼を申し上げたい。

著者略歴



昭和61年3月 上智大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士後期課程修了

昭和61年9月 イリノイ大学アーバナ・シャンペイン校理論・応用力学部研究員

平成元年4月 足利工業大学機械工学科助教授

平成18年4月 足利工業大学機械工学科教授

平成28年4月－現在 足利工業大学機械分野自然エネルギーコース教授

(平成30年4月より大学名称を足利大学に変更)