

太陽光熱浄水器の開発と発展途上国での実用性の研究

斎藤天丸 永崎遼太 加賀大智 辻村優毅

指導者：関 隆一郎教諭 松本穂高教諭

要旨

私たちの研究目的は、新たな水浄化の手法を確立することである。今日、我が国では容易に水を入手可能である一方で、世界の中では日々の生活に必要な飲料水さえも入手が困難な状況に置かれている人々が少なくない。そこで、私たちは発展途上国での水問題解決のために、ソーラーウォーターの開発に取り組んだ。これは、太陽光を用いて蒸留を行うことで飲料可能な水を入手する装置のことである。この手法を用いることで、簡易かつ安価での水入手が可能となる。本研究では、ソーラーウォーターの実用性及び、浄化後の水の安全性について調査を行った。その結果、獲得水量について更なる改良が必要である一方で、浄化後の水について、十分な安全性が確保できると判断した。そこで我々は、このソーラーウォーターを利用した水問題解消のための一案を提案する。

キーワード：太陽光 浄水 発展途上国 水問題 毛細管現象

Development of “Solar Water”

Author: Saito Takamaru, Eisaki Yyota, Kaga Daichi, Tsujimura Yuki

Supervisor: Mr. Seki Ryuichiro, Mr. Matsumoto Hotaka

ABSTRACT

Nowadays, some people can get safe water easily, while some are still drinking unsafe water. The aim of our study is to develop a new water cleaning system. We examined “Solar Water,” which makes distilled water by the heat of sunlight and supplies safe water. Using this system, people can get clean water easily at a low cost. In our study, we examined the practicality of this method and the safety of the distilled water produced. We found that the distilled water is clean enough to drink, at the same time that we have to increase evaporation. We would like to propose “Solar Water” to be used as a solution for a lack of safe water.

Key Words: Sunlight, water cleaning, developing country, water problem, capillary phenomenon

1. 研究の動機、目的

本研究の課題は、太陽光という熱源を利用し、液体の水を水蒸気に状態変化させる過程で汚れを残留させ、汚れの取り除かれた水蒸気を再び液体、浄化された水に戻すという熱浄水器の開発を行うことである。開発した浄水装置の安全性にあたる浄化・精製能力、実用性にあたる浄水獲得能力に対して、利用可能なことを検証したのち、NPO(民間非営利組織)を設立し、発展途上国に提供することを最終目的とする。

地球は水の惑星と呼ばれているように、多くの水が存在している。しかしながら人間の生存のために不可欠である淡水の量は限られている。人類は、生命活動の維持という目的に始まり、近代化、社会経済発展の基礎の形として、安全な水の確保に向けた取り組みを行ってきた。その結果、現在先進国において、特に日本やアメリカ合衆国、ロシアなどにおいては水道の普及率は約100%までに至っているが、対して、おもにアフリカ等の発展途上国において、上水道の整備が遅れている。具体例として、コンゴ民主共和国、エチオピアなどがあげられる(World Development Indicators Database 参照)。日常的に飲む水でさえ遠くの井戸や川までくみに行き、煮沸消毒をしなければならぬ地域も多く、児童労働など様々な異なる問題を作り上げてし

まう引き金になっている。

このように、水資源に恵まれ、蛇口をひねれば容易に高い水準の水が手に入る私たち日本人にとって、想像もできない多くの問題が世界には存在する。ところが利用可能な水に対する取水量の割合の統計(Smakhtin, Revenga, Döll リサーチレポート(2004)参照)によると、おもに中緯度地域の乾燥帯が深刻な水不足にあたる、60%~100%であるのに加えて、アメリカ合衆国中西部や中国の華北、日本などは、30%~60%と中位の水不足にあたるなど、将来的に見ても、なお『安全な水を確保する』ことは日本のような先進国であっても決して軽視できない重要な課題である。

世界的に見ても、全人口の約一割が生活に必要な安全な水を得られない状態にあるのに加え、処理されない下水により汚染された河川や地下水が感染症の温床となり、毎日1400人も5歳以下の尊い子供の命が失われている。その解決にむけて、上に述べたような先進国の果たす役割は大きい。例えば、日本の伝統的な井戸掘り技術を、発展途上国の農村に伝える活動が、NGOによって行われている。また日本は、地方自治体と企業が協力して、水の処理や水道技術を海外に紹介しPRするなど、積極的な姿勢を示している。

現在、このような安全な水の確保に向けての活動が注目されており、今後水の供給は大きなビジネスになりえると考えます。そこで私たちは発展途上国で利用することを前提として、安く、簡単に、誰にでも安定して安全な水を供給できる能力を兼ね備えた浄水器の開発に乗り出した。ここで一番重要なのは、汚い水をきれいにするエネルギー源だ。私たちはこのことを考えていくうえで、人類にとって誰にでも関わりがあるといえる、太陽光に注目した。太陽光とは言うまでもなく、太陽から降り注ぐ光のことであるが、天候に左右されるという欠点はあるものの、高い利用価値を有するといえる。事実、地球に降り注ぐ太陽光エネルギーはとてつもなく大きく、これを 100%電気エネルギーに換算すれば、地球全体の年間エネルギー消費量をたった一時間でまかなえるほど巨大なものであるといわれている (http://太陽光発電メリットデメリット.biz/参照)。現在注目を浴びている太陽光パネルは太陽光を利用した装置として有名である。太陽光によって利用できるのは光、熱という 2 つの側面であり、太陽光パネルは前者を利用したものである。私たちは後者を利用することを前提として、太陽光の可能性を模索し、開発を進めていくという方針を立てた。

2. 本研究の仮説と検証の手立て

構想 安価かつ簡易な手法による浄水装置を開発することで、発展途上国における水問題の解決に寄与する

仮設 1 発展途上国でも利用が可能ないように、簡易な構造とする必要がある。

仮設 2 日々の生活で利用できるように、飲料用として十分な量の水を浄化する必要がある。

仮設 3 太陽光を利用して浄水を行うことで、安全な水を手でできる

以上の仮説について次の手法により、実験、調査を行った。

- (1) 簡易な構造を開発するために、様々な構造の浄水器で実験を行った。
- (2) 浄化量を測定する実験を行った。
- (3) 海外フィールドワークで私たちの研究に対する評価を頂いた。
- (4) 浄化後の水の安全性をイオンクロマトグラフィーによって検証する。

3. 太陽熱浄水器開発実験

私たちは、浄水装置の開発のため、2015 年初夏から冬にかけて、実験を行ってきた。

実験計画はおおよそ次の三期に分けられる。第一期では、太陽熱浄水器の開発と、浄化能力の測定、第二期では、精製水の安全性の確認、第三期では、第一期、第二期の実験を繰り返し行い、実験の検証を行う。現時点では、第二期まで終了しており、太陽の活動が活発になる 2016 年夏から秋を目安に第三期の終了を目指している。なお、第三期に関しては、来年度の学年に担当を引き継ぐことも視野に検討している。

第一期・・・太陽熱浄水器の開発と、浄化能力の測定

実用的な浄水器の開発のためには、単位面積当たり、単位時間当たりの浄化能力を一定以上にする必要があり、浄化能力を上げるための研究開発が不可欠である。そのため、第一期では、様々

な発想で機器を作成し、それぞれの浄化能力を比較、検証することで、より良い浄水器の開発を目指した。

そのため、一つの機器にかけられる実験回数は少なくなるが、その分多くの種類の機器で実験を行った。

(1) 装置の特徴

実際に実験を行った機器は、9 種類 5 タイプに分類される。図 1, 2 は、下から蒸発させるタイプ、図 3, 4 はシートで加熱するタイプ、図 5 は屋根の熱を使うタイプ、図 6, 7, 8, 9 は上から蒸発させるタイプである。それぞれについて、特徴と利点、欠点を示す。







		装置写真	特徴
下から蒸発させるタイプ	図 1		<ul style="list-style-type: none"> 下の黒い布から蒸発 上のプラスチック製の容器で凝縮
	図 2		<ul style="list-style-type: none"> 中にカップが入っておりその上に浮かべてある黒い布から蒸発 側面で凝縮し、底にたまる
シートで加熱するタイプ	図 3		<ul style="list-style-type: none"> 黒いシートの中にティッシュペーパーを挟み、水を通して加熱 奥のプラスチック容器で蒸発、凝縮
	図 4		<ul style="list-style-type: none"> 加熱部と蒸発部を交互にもってきた 風に弱くすぐに壊れて飛ばされた
屋根を使うタイプ	図 5		<ul style="list-style-type: none"> 屋根の熱を利用 屋根に水を塗りながら装置を動かしていく
上から蒸発させるタイプ	図 6		<ul style="list-style-type: none"> 上部の黒いビニール袋の裏にティッシュペーパーを貼っておき、そこから蒸発 側面で凝縮




図7		・CD ケースを利用
図8		・カップ表面の過熱を防ぐため覆いを付けた
図9		・食品トレーを使用 ・黒いビニールシートの上にふたを付けたことで、熱の発散を防止

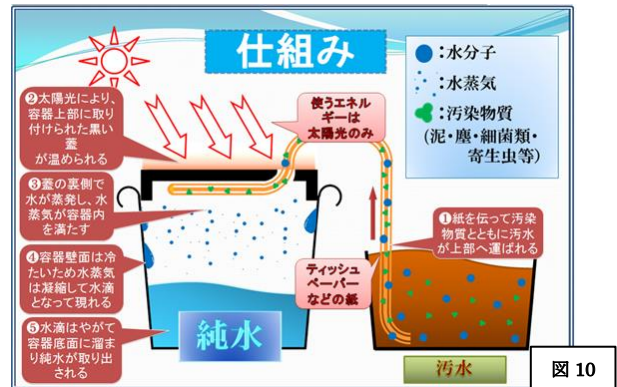
図1, 2の下から蒸発させるタイプは、水を入れた容器に黒い布を浸し、その上に透明な覆いをかぶせるという構造をしている。太陽エネルギーを黒い布で吸収し、水を加熱蒸発させ、透明な覆いで水を凝縮させることで、精製水を得る。しかし、図1では、覆いの天上部だけでなく、側面部でも盛んに凝縮してしまい、天上部からのみを回収するこの機器では、効率が良くなく、1mlしか浄化できなかった。そこで、図2のように、側面で凝縮した精製水も回収できるようにし、また、蒸発させる水を入れる容器も縦に並べて数を増やした。縦に高くすることで、単位面積当たりの浄化能力は上がったが、図1, 2ともに、覆いの表面が水滴で覆われると、中まで光が届かなくなるという欠点は克服できなかった。

図3, 4のシートで加熱するタイプは、下から蒸発させるタイプの欠点である、布まで光が届かなくなることを解消するために、加熱部と蒸発部を完全に分けたものである。まず図3の機器を作ったが、シートが長すぎて、単位面積当たりの効率が良くなかった。そこで図4のような梯子型の機器を用いて、そこに、加熱部と蒸発部を細かく交互に取り付けたシートを付けることにした。

図5の屋根の熱を使うタイプは、夏に屋根が高温になることを利用した仕組みである。図1, 2と同じような仕組みではあるが、覆いの部分を台車に取り付けて、高温になった屋根に水を塗っては台車をその上に移動させて蒸気を回収するという操作を1から2分おきに繰り返すというしくみである。図1, 2と異なる点は、台車を移動させるということで、そうすることで、覆いが水滴で曇る心配をせずに、常に高温の熱源を使うことができる。

図6, 7, 8, 9の上から蒸発させるタイプは、図1, 2の仕組みを上下逆にした仕組みで、そうすることで、覆いが曇る心配をせずにすむようになった。天井部には、内側にティッシュペーパーを張った黒いビニール袋が付いていて、それに水を吸わせて、蒸発させるものである。はじめは図6のように小さいもので行っていたが、CDケースを使うようになっていった。(図7)また、図8は、カップ表面の過熱を防ぐために、覆いを付けた。図9は黒いビニールシートの上にふたを付けたことで、熱の発散を防止した。また、図9に関しては、コスト計算も行い、一機当たり

7. 8円という結果だった。また、以下にその仕組みを示す(図10)。



(2) 浄化能力

それぞれの浄水器について、浄化可能な水量を調査した。そのうち効率の良かった二つについて結果を示す。

主な浄水器の浄化能力

	装置 A(図7)	装置 B(図9)
面積(cm ²)	6.5×6.5×3.14 = 132.665	13 × 19 = 247
時間(hour)	9	8
獲得水量ml	29	79.8
1m ² あたりの獲得水量	0.75ℓ	3ℓ
値段(円)	—	7.8
1.5ℓ*を得るのに必要な面積	2.5m ²	0.5m ²
1.5ℓ*を得るのに必要な台数	50機	20機

*1日に人間一人を養うのに必要な水の量

4. マレーシアにおける水問題意識と本実験への意見調査

装置自体の能力を調査する実物実験に加え、やがて実用化する際に買い手からの確実なニーズと商品価値を得るため、私たちの実験についての意見をフィールドワークとして夏季休業中の海外研修を利用しアンケート調査を行った(8/18~8/19)。アンケートには図11, 12の用紙を用いた。

太陽熱浄水器開発実験の結果に示したような値はまだ取れていなかったため今回のアンケート調査の主な目的は、世界の水問題に対する意識の調査と、研究内容に対する将来への期待性とコストパフォーマンスについての総合評価と設定した。

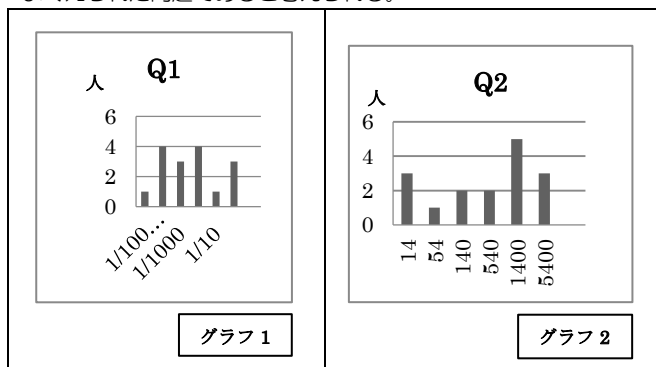
アンケートに協力頂く方々に装置の概要を十分に理解してもらうため、その仕組みと根拠を簡略化した図をフリップとして用い、現地の方々とディスカッションを交わした(図13~図16)。学生、自営業、警察官、サラリーマン、バックパッカーなど、計17名の男女から貴重な意見をいただくことができた。上記について、アンケートの質問とその結果を以下に示す。

○水質汚染への問題意識

Q1.世界人口70億人のうちのどのくらいの人が安全な水を手に入れない状況にあるか(解答: 10人に1人)

Q2.水質汚染が原因で毎日何人の子どもがなくなっているか(解答：1400人)

という二点について選択形式で予想数値を回答していただいた(グラフ1, 2)。Q1では世界に7億人もの困窮者がいるということが考え難いからか、それより小さな値を選ぶ傾向が強かった。Q2では解答かもしくはそれより高い値に票が多く集まった。水質汚染により幼い子供が被害を受けていることは日本以外でもよく知られた問題であると考えられる。



○太陽光熱浄水器の利点についての意見

- ・施設稼動時のコストがかからなくて良い
- ・水道水は必ずしも綺麗であるとは言えない
- ・簡単なつくりであるから家庭にも適応する
- ・非常に安価に作る事ができる
- ・太陽光以外のエネルギーを使わない

など、装置事態の構造のシンプルさと原理の単純さに高評価の意見をいただいた。

○太陽光熱浄水器の欠点についての意見

- ・発展途上国での問題は水が汚いことよりも、そもそも水がないこともある
- ・汚い水を蒸留によって浄化しても臭いは残ってしまうのではないかな
- ・ミネラルが全く含まれていないだろう

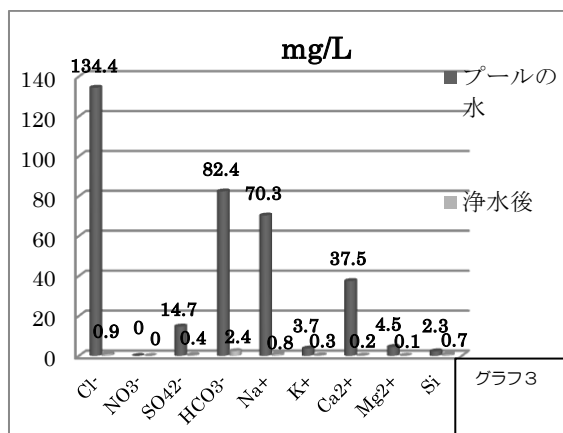
このように、装置が有用となる条件や、装置によって浄化された水の科学的、生物学的な安全性を心配する声があがった。以上の結果をもとに、実験器具のさらなる効率化、簡略化を続けるとともに、安全面への裏付けとして科学的な実測値を得ることを次の目標とした。

5. 浄化後の水の安全性に関する検証

日本においては、水道水については水道法による規制が存在する一方で、個人所有の井戸水のような給水事業の管轄外の水については、法的な規制が存在しない。そこで私たちはMJITの杉浦教授から検証の方法として簡易飲適という方法を教えていただいた。これは一般細菌、大腸菌、有機物、塩化物イオン(Cl⁻)、硝酸態窒素(NO₃⁻)、pH、味、匂い、色、濁度の10項目に関する水質検査方法の総称である。

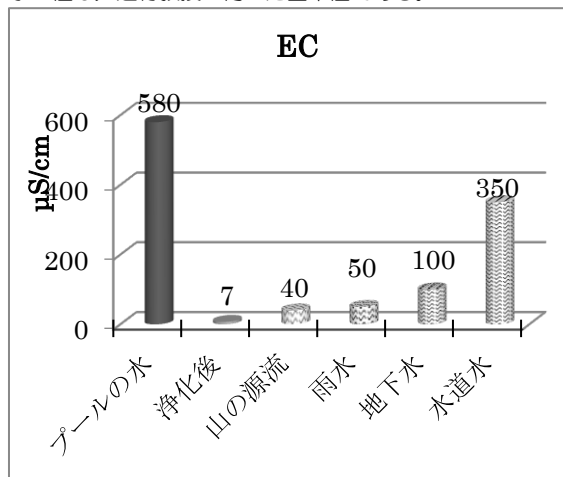
匂い、色、濁度については特に基準がないため、目視で確認した。プールの水(図17)にあった砂や泥の不純物、腐った匂いは浄化後(図18)にはなくなっていた。

無機物についてはイオンクロマトグラフィーを用い、検証に際しては筑波大学の辻村教授とその学部生にご協力をいただいた。塩化物イオン、硝酸態窒素を中心に、プールの水とその浄化後に検出された無機物の量をグラフ3に示す。



硝酸態窒素は初めから検出されなかった。ほかにプールの水で検出された8つのイオンは浄化後にはほとんど検出されず、十分に浄化されていることが確認できた。

またイオンクロマトグラフィーでは、ECという値についての検出も行った。ECとは電気伝導度のこと、水の中の電気の通りやすさを示す値でありこれが高いほど多くの溶存イオンを含んでいることを示す。グラフ4の山の源流、雨水、地下水、水道水の値は、辻村教授に伺った基準値である。



グラフ4

浄化後では山の源流よりも純粋であるという結果が得られた。浄化後のpH値は6.4で、これは水道法に定められる5.8~8.6の範囲を満たしている。また浄水後の水を実際に飲んでみたが、味も問題なくその後身体に目立った影響は認められなかった(図19)。

6. 本研究の成果を生かした具体的起業計画

本研究題目は、「太陽光熱浄水器の開発と発展途上国での実用性の研究」であり、太陽光熱浄水器の開発に成功したことは研究成果として、前述したとおりだ。そして次の段階として、発展途上国での実用性について、具体的な起業計画とともに記述していく。

[起業プラン]

太陽光熱浄水器を、水資源を満足に得られない人々に提供する企業を設立する。

[事業内容]

私たちが開発した太陽光を利用した浄水器を発展途上国の人々に提供する。すなわちターゲットは発展途上国である。企業形態は、NPO(民間非営利組織)を考えている。NPO法に基づき、非営利団体は法人格を得ることで、契約の主体者になれる、社会的信用が得られる、事業展開がしやすくなるなどのメリットを得ることができるためだ。また、保健、医療または福祉の増進、社会教育の推進、地域安全、国際協力、科学技術の振興、職業能力の開発又は雇用機会の拡充の支援というNPOの設立可能な17分野のうちの6つの分野を満たしており、設立条件を満たしている。

[市場環境]

水資源獲得に向けた事業の市場規模は、現在多くの国々が水資源に関して問題を抱えていることから、まだまだ小さいが、管理・運営分野やエンジニアリングを含めた市場は今後成長が見込まれる。NGOやUNICEFなどの安全な水を獲得するため事業を展開する組織は、井戸の開発など、水を獲得する事業に重点を置く傾向がある。対して私たちは、既に存在する川や湖などの水資源を対象とし、その水を浄水するという点で差別化を図る。

[市場アクセス]

HPなどによる広報、また、NGOやUNICEFなどの組織が水資源獲得に向けて多くの事業を展開するため、そのような組織に私たちの事業を提案することで認知させ、事業網を展開していく。そこで、差別化を図ることが非常に重要であるが、[市場環境]で記述した通りだ。

[経営プラン]

発展途上国に派遣する人材は、日本中から募集した学生を想定している。派遣期間は1か月ほどを考えており、夏休みなどの長期休暇中に参加することが可能である。企業としてのメリットは私たちの浄水器を発展途上国におくることが出来、安全な水の供給に貢献することが出来ることだ。学生のメリットとしては、発展途上国に行き、現地人との交流などを通して、グローバルな経験を得られることであり、双方において有利な関係を築く。またこの事業は、世界中には多くの未解決問題があることを、可能性に満ちた学生に肌で感じてもらうことで、責任感、使命感をもつ人材育成という点でも、非常に意義があると考えられる。派遣する学生には、本研究で開発した太陽光熱浄水器に関して事前に研修をして指導し、現地での事業の主体者として働いてもらう。

[資金計画]

NPOとして世界中から本研究、事業を支持する人々から寄付を募り、活動資金とする。NPOは事業を行なって収入を得てもかまわず、従業員に給料を出してもいいが、利益を得て配当する

ことを目的とする株式会社などと大きく違う点として、利益があっても法人の構成員に分配することが禁じられている。そのため、寄付金は給料以外基本的に活動資金にあてる。私たちは、事業が支持され、寄付金が増加するし、事業展開と広報活動を同時に推進することで、認知度をあげ、結果的に寄付金が増大するという相乗効果を期待する。

[リスクと解決策]

事業を継続的に運営するという点において、活動資金を募金に頼る点、人員を募集に頼る点に不安がある。また、募集する学生の研修費、旅費などについては具体的な金額が確定していないことも募集していくことでリスクとなりえるため、さまざまな組織団体を参考にして金額設定を行いたい。さらに、私たちがターゲットとした発展途上国は主にアフリカの国々を指しているが、現在情勢不安、感染症、治安などの点から、渡航を控える傾向にあるため、募集人数が少ないという問題も予想される。

7. 謝辞

本稿の作成に当たり、多くの皆様にご指導ご協力を頂きました。杉浦則夫教授(MJIT)には水質の安全性について質問にお答え頂きました。Alex Danielさんにはマレーシアでの海外フィールドワークでアシスタントをして頂きました。辻村真貴教授(筑波大学)には水質測定に御協力頂きました。関隆一郎教諭・松本穂高教諭には本研究の御指導を頂きました。深く感謝申し上げます。

《参考文献》

- 我が国水ビジネス
- 水関連技術の国際展開に向けて
<http://www.meti.go.jp/policy/economy/mizuhoukokusyo.pdf>
- NPO 法人の作り方:わたしと起業.com
www.watashi-kigyuu.com
- <http://turntap.jp/site/ki7.html>
- http://www.knights.jp/ana/water/drink_10item.html
- <http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html>

巻末資料

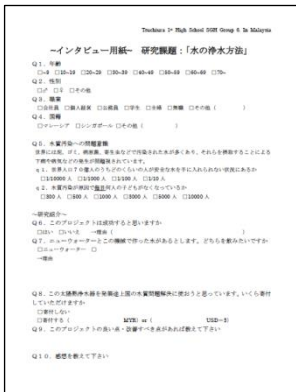


図 11

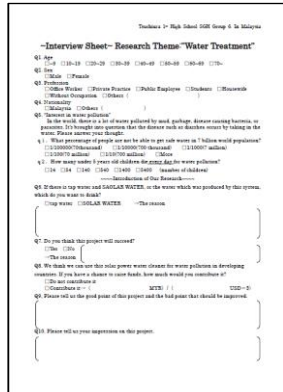


図 12



図 13



図 14



図 15



図 16



図 17



図 18



図 19