

三角型太陽熱淡水化装置(TrSS)の蒸留過程における大腸菌群検査

福井大学大学院	学生会員	○古市健二
福井大学	正会員	寺崎寛章
愛知医科大学	非会員	梅村朋弘
福井大学大学院	学生会員	加藤隼也
広島工業大学	正会員	福原輝幸
福井大学	非会員	長谷川美香
福井大学	非会員	日下幸則

1. はじめに

世界の5歳未満児の死亡数は1990年から2018年にかけて約半数に減少したが、2018年の死亡数は530万人にまで及ぶ¹⁾。その死亡原因は出生時を除けば、不衛生な飲み水の飲用による下痢性疾患が2番目に多い¹⁾。下痢性疾患が深刻な国の一つにバングラデシュがあげられ、インフラの未整備による表流水の大腸菌汚染により、毎年4万5千人を超える5歳未満児が死亡しており²⁾、安全な飲み水の確保が急務となっている。

当該研究室では、バングラデシュ僻地沿岸部での安全な飲み水の確保手段の一つとして、三角型太陽熱淡水化装置(Triangular Solar Still, TrSS(図-1を参照))を研究開発している。TrSSの造水量に関する報告は数多くあるものの³⁾、TrSSの水質改善効果、とりわけ一般細菌および大腸菌群の殺菌効果や太陽光による殺菌時間および残菌率のモデル化に関する研究は筆者の知る限りなく、科学的知見の蓄積が望まれる。そこで本研究では、TrSSによる一般細菌および大腸菌群の殺菌効果を調べたので、その結果を報告する。

2. 野外実験概要

本実験は福井大学屋上にて2018年8月および9月の晴天日(0時~21時)に、TrSS、集水器、架台、データロガーおよび気象観測装置を用いて行われた(図-2を参照)。本実験はトラフ内に五領川浄化セン

ターにて採水した二次処理水(大腸菌数:約3000匹)を用いた。実験中のTrSS内の紫外線強度 R_s (W/m²)は紫外線計により、トラフ水温 T_w (°C)、TrSS内気温 T_m (°C)および外気温 T_{out} (°C)は熱電対により、それぞれ測定した。また細菌簡易検出紙(サン化学製)を用いて、0時から21時の間のトラフ水(合計7回)および13時と21時の蒸留水の一般細菌および大腸菌群をそれぞれ検査した。

3. 残菌率モデル

紫外線による大腸菌の殺菌効果に関して、古くは原田⁴⁾が殺菌線(波長253.7nm)を菌に照射した時の残菌率 s を以下の式(1)のように定式化している。

$$s = \exp\left(-\frac{Et}{Q}\right) \quad (1)$$

ここに、 E は殺菌線放射強度($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)、 t は照射時間(sec)、 Q は菌数を $1/e$ (=36.8%)まで低下させるために必要な照射エネルギー($\mu\text{J}/\text{cm}^2$)である。さらに、式(1)を基に山中ら⁵⁾は水深による殺菌線強度の減衰を考慮した残菌率の式を提案している。しかしながら、太陽光を対象としたモデルは筆者の知る限りない。本研究では、式(1)を基に新たに太陽光の波長域を考慮した残菌率モデルを以下の式(2)のように提案する。

$$\log \frac{S}{100} = -\frac{t}{D} \int \lambda_X D_X (R_s - k_X H) dX \quad (2)$$

ここに、 S は任意の水深の残菌率(%), R_s は紫外線照射強度(W/m²), H は水深(m), t は照射時間(sec), D

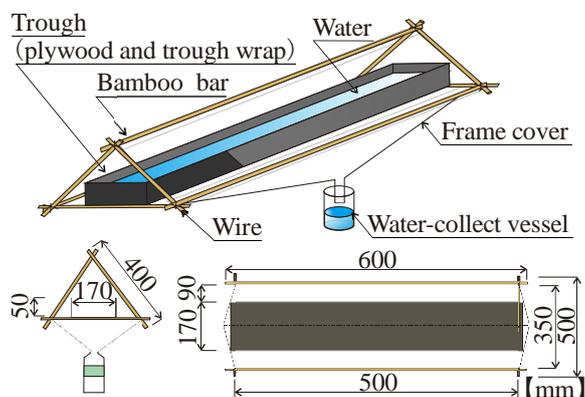


図-1 TrSSの構成および寸法

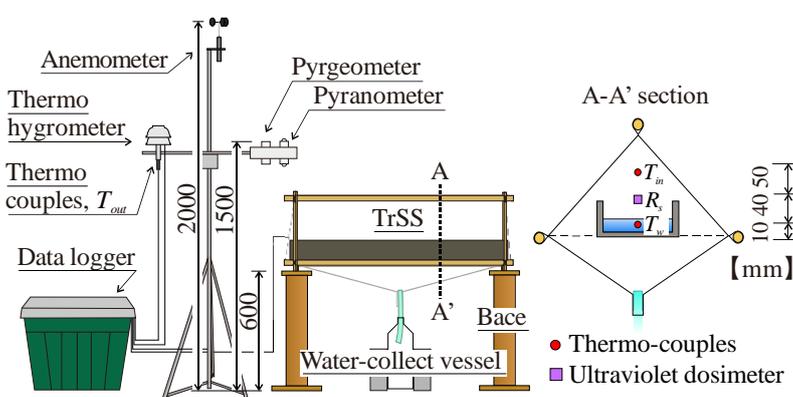


図-2 野外実験概要図

キーワード：バングラデシュ、太陽熱淡水化、TrSS、一般細菌、大腸菌群

連絡先：〒910-8507 福井市文京3-9-1 福井大学工学部建築・都市環境工学科 環境水工学研究室 TEL0776-27-8595

は菌数を 1/10 に低下させるために必要な殺菌線照射エネルギー (J/m^2), D_x は殺菌線に対する波長 X (nm) の殺菌効果の相対値 (-), λ_x は R_s に含まれる波長 X の割合 (-), k_x は波長 X の紫外線が単位深さ当たりに減少する強度 ($W/(m^2m)$) である. なお, 本研究では式 (2) に関して, 以下の 5 つの条件を与える. すなわち, 1) H は紫外線強度が最も減衰するトラフ最大水深 (0.02 m) を与える. 2) D は山中ら⁵⁾の値を参考に $60 J/m^2$ を与える. 3) D_x は原田⁴⁾の波長と殺菌作用のグラフより近似し, $D_x = 2.10 \times 10^5 e^{-0.056X}$ を与える. 4) λ_x は太陽光の紫外域の波長特性⁶⁾の近似値(図-3を参照)からその割合を求め, $\lambda_x = 1.99 \times 10^{-2} \log(X - 280) - 2.57 \times 10^{-2}$ を与える. 5) k_x は UV ランプを用いた予備実験の結果より, $k_x = -1.81 \times 10^{-3} X + 4.26$ を与える.

4. 野外実験結果

代表的な一例として 9 月 18 日の実験結果を述べる. 図-4 はトラフ水および蒸留水の大腸菌群の検査結果を示す. トラフ水の大腸菌群は 0 時から 10 時までには検出されたが, 13 時以降では検出されず, また一般細菌も同様の結果が得られた. 次に水温および紫外線などの気象因子から, これらの殺菌要因を考察する.

実験中のトラフ水の最高水温は 13 時 30 分に約 $50.5^\circ C$ に達したものの, 大腸菌群の殺菌温度 ($65^\circ C$)⁷⁾ よりも低い. これより大腸菌群は主に紫外線(特に UV-B)によって殺菌されたと考えられる. 図-5 は実験中の水深 0.02 m 地点における積算紫外線量 R_c (kJ/m^2) および残菌率 S の経時変化を示す. 式(2)より, $S < 0.033\%$ (残菌数 1 未満) となるために必要な紫外線量は $225 kJ/m^2$ であり, 本実験における 12 時 15 分時点の値と同等であった(以降, 菌はほぼ死滅すると予想される). 実際に 13 時 ($R_c = 253 kJ/m^2$) の大腸菌群は検出されなかったことから, 式(2)の結果に矛盾は生じていない. なお, バングラデシュ僻地沿岸部における乾期(1~4 月)の R_s は日本よりも高いため, 同様の効果が期待できる.

一方, 蒸留水の一般細菌および大腸菌群は 13 時および 21 時のいずれの時点においても検出されなかった. 本実験の太陽光照射下における TrSS は一般細菌および大腸菌群の殺菌に有効である.

5. おわりに

本研究では, バングラデシュ僻地沿岸部における安全な飲み水の確保を目的として, TrSS による一般細菌および大腸菌群の殺菌効果を調べた. その結果, 太陽光を利用する TrSS の蒸留過程において, 一般細菌および大腸菌群の殺菌が確認された. また提案したモデルにより, 残菌率の経時変化を示すことができた. 今後はデータの蓄積に努めるとともに, 精度の良い残菌率モデルを構築し, より安全な飲み水を造ることを目指す.

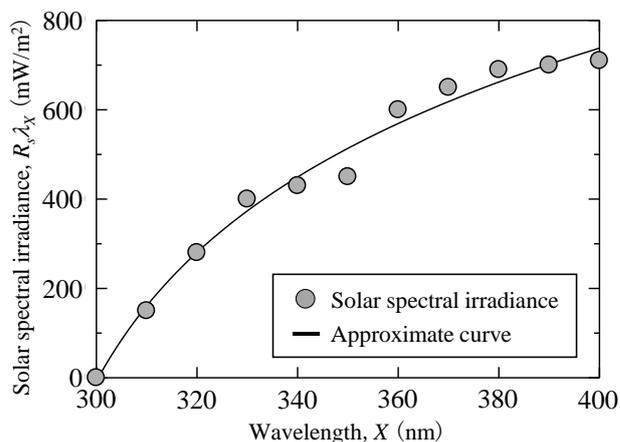


図-3 太陽放射スペクトルおよび近似曲線

Trough water				Distilled water	
0:00	5:00	10:00	13:00	13:00	21:00
Detect	Detect	Detect	Non-detect	Non-detect	Non-detect
15:00, 19:00, 21:00 → Non-detect					

図-4 トラフ水(左)および蒸留水(右)の大腸菌群

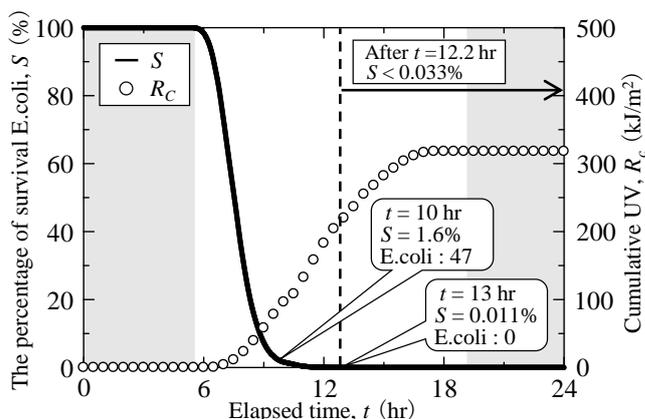


図-5 残菌率および積算紫外線量の経時変化

参考文献

- 1) UNICEF : Levels and trends in Child Mortality, UN IGME Report, p. 16, 2019.
- 2) WHO : UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water, GLAAS Report, p. 60, 2017.
- 3) 例えば, 加藤隼也ら: バングラデシュ沿岸漁村部における三角型太陽熱淡水化装置 (TrSS) の造水量予測, 土木学会第 73 回年次学術講演会講演概要集, II-212, pp. 423-424, 2018.
- 4) 原田常雄: 殺菌燈, 照明学会誌, 1 (36), pp. 23-28, 1952.
- 5) 山中泰彦ら: 殺菌ランプによる水殺菌の研究, 照明学会誌, 87(2), pp. 119-126, 2003.
- 6) 佐々木政子ら: 絵とデータで読む太陽紫外線, 独立行政法人国立環境研究所, CGER Report, pp. 5-14, 2006.
- 7) 食品安全委員会: 食品により媒介される感染症等に関する文献調査報告書, pp. 184-201, 2010.