

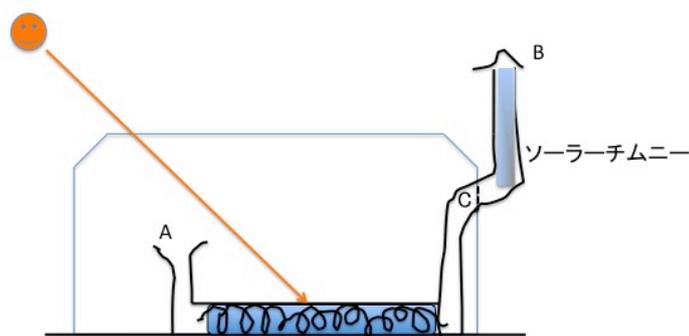
[1] 研究目的

システムダイナミクス (SD) に基づく数値シミュレーション技法は強力な環境教育の手段である。環境問題の多くは実験が出来ないからだ。しかし、シミュレーションのやりっ放しではこの技法を身につけることは出来ない。シミュレーション技法の習得には、シミュレーションモデルの妥当性を検証する過程が必要不可欠である。そこで本研究では、シミュレーションモデルの構築と、その結果の妥当性を検証するための教材開発を目的とする。

題材としては「温室環境」を取り上げる。第一に、無栽植の温室は、境界（環境）が明瞭、かつ、応答が直線的で、フィードバックループが弱い、比較的単純な物理システムとみなすことができる（ ）。第二に、栽植を行なうと、多くのフィードバックループを含む、非線形性の強い、生物物理システムを創出することができる（ ）。したがって、数値モデルの妥当性を、第1に、比較的単純な物理システムについて、第2に、より複雑な生物物理システムについて、といった具合に、二段階にわたって実験的に検証することができる。また、シミュレーションソフトとしては、ビジュアルソフト「STELLA」を採用する。プログラミング技術を必要とせず、小学校高学年ぐらいからでも、直感的に使えるからである。

さらに、今回使おうとする教材には、環境資源の有効利用を図るための工夫を盛りこんだ。ソーラーチムニーを取り入れた蓄熱式の模型温室がそれである。環境調節施設としての「温室」には、まだまだ、様々な工夫を取り入れる余地がある。商業ベースでも成り立つような、そんな工夫を生徒が生み出せるような例示教材となることが期待できる。

この温室は、対流による「熱交換－蓄熱」装置を備えたガラス室（あるいはビニールハウス）である（図）。日中、換気窓Cを開けると、温室内およびチムニーで暖まった空気が対流で流動し、吸気口Aから排気口Bへ空気が流れが形成される。この空気の流動により、ダクト水平部に配設した蓄熱材（例えば、水および木炭）に熱が蓄積される。そのため、室温の上昇が緩和される。夜間は、換気窓Cを閉じる。すると、蓄熱装置から室内に熱が放出される。そのため、夜間の温度低下が軽減される。このように、吸気口、ダクト、蓄熱材そして排気口から構成される、簡単な「熱交換－蓄熱」装置でもってエネルギーを投入することなく、温室環境の最適化をはかることが期待できる。



自然蓄熱式温室

[2] 研究の内容・方法

全体を三つのサブシステム、即ち、温室、蓄熱装置、チムニー付き温室、に分けて、研究を進めた。はじめに、それぞれのサブシステムについて、教材としての観点から文献調査を行った。次に、とについては、視覚型シミュレーションソフト、STELLAを使ったシミュレーションモデルを作成した。については、チムニーの効果の評価するため、模型を作って試行錯誤的な実験を行なった。最後に、については、温室の昇温効果を取りあげ、既存のシミュレーションモデルと比較した。また、については、室内実験との対比により、シミュレーションモデルの妥当性を調べた。得られた結果は次の通りである。

1. 温室

簡易な温室モデル、「乾式温室モデル」を開発した(補足資料1)。このモデルでは、温室内が完全に乾いていると仮定した。したがって、蒸発・凝結による熱交換は考えなくてよい。すると、被覆、温室内空気層および地表面に対して、それぞれ1つの、計3つの熱収支式が成立する(補足資料、式1から3)。また、これら熱収支式中の2つの放射フラックスはステファン・ボルツマンの法則によって、5つの顕熱フラックスは輸送式によって、3つの温度、すなわち、被覆(T_c)、温室内空気層(T_o)および地表面の温度(T_s)に関係づけられる(式4から10)。これが簡易温室モデルで、環境条件として S 、 L_d 及び T_a を、システムの特値として保温比 A_f/A_w 、貯留比 r 、3つの熱伝達係数、換気熱伝達係数および被覆面の射出率と透過率を与えれば、 T_s 、 T_o および T_c を求めることができる。

2. 蓄熱装置

蓄熱装置の性能を簡便に評価するため、ニュートンの冷却則を一般化した(補足資料2)。この一般式は、 T_o を周辺温度、 T を蓄熱体の温度、 C を熱容量、 S を熱湧源からの熱流束密度、 α を蓄熱体の S 吸収率、 A_f を蓄熱体の床面積とすれば次のように与えられる。

$$C(dT/dt) = SA_f - K(T - T_o)A_f$$

ただし、 K は、放射熱伝達係数 K_r と顕熱伝達係数 K_h を包括した熱伝達係数(全熱伝達係数)で、保温比 $\alpha = A_f/A_w$ を使って次のように定義される。

$$K = K_r + K_h$$

この式を使えば、日射などによる「加熱」(S)がある場合でも、周辺温度(T_o)と、5つのシステム特値(α 、 r 、 A_f 、および K_h)から、水槽水温 T の時間変化を算出することができる。

なお、温室モデルと結合すれば、室温 T_o を通して、二つのサブシステムが連動する。

3. ソーラーチムニー式蓄熱温室

この温室の作動原理は仮説である。その仮説の当否を調べる実験を行なったが、適切なデータが得られなかった。仮説の立て方と実験の備えが不適切だったからだ。以下は今後の研究への指針と方法の改善策である。

- 1) 換気と蓄熱量との関係に関する仮説を再構築する。そのためには、温室モデル(補足資料1)と蓄熱槽モデル(補足資料2)とを結合し、シミュレーションを行なわなければならない。
- 2) 温度測定体制を整える。連続的な自動測定が行なえるよう、データロガーを用いるとともに、蓄熱槽内の水温測定ならびに温室内気温の測定を改善する。
- 3) 引き続き、チムニーの材質とサイズを変えながら、実験を行い、十分な換気が行なえる設計条件を見出す。
- 4) 以上のような装置を用いて、十分な熱ならびに空力環境を備えた室内で、基本的な性能テストを行なう。
- 5) 装置を耐候性とし、屋外でも1、2日間、連続的な測定を行なう。

[3] 結論・考察

「温室環境」をテーマに、シミュレーションモデルの構築と、模型によるその実験的検証が一体となった環境教育教材の開発を目指した。温室としては、環境資源の有効利用を図るため、ソーラーチムニーを取り入れた蓄熱式温室を構想した。1年間の助成期間中に得られた成果は次の通りである。

簡易な温室モデルを開発した(補足資料1)。

蓄熱装置の基本的な作動性を定量化した数値モデルを確立した(補足資料2)。

模型温室を作成し、ソーラーチムニーの作動性を調べた(補足資料3)。

を行なったのは、文献調査の結果、本研究が目指すような教材に適した温室モデルが見出せなかったからである。温室については、これまで枚挙にいとまが無い程、多数の数値モデルが公表されている。しかし、その殆どは、複雑かつ詳細な専門家向けのもので、初学者が理解し、使えるものが無かった。も同様である。蓄熱装置の性能を評価するには、よく知られたニュートンの冷却則を使うのがもっとも順当であろう。しかし、意外にも、この法則の成立条件、使い方を明示した文献が見当たらなかった。を行なわなければならなかったのは、そのためである。

については、まだ、緒に就いたばかりである。ソーラーチムニー()については、温室()並びに蓄熱装置()以上に、文献・資料が存在しないからだ。校舎等の建築物に用いられている例について、個別的、記載的な資料はあるが、設計原理、評価方法に関する基本的な資料が見出せなかった。そこで、ゼロから手探りで進めざるを得なかった。

以上のような成果を、当初の目標と照らし合わせると、今後、以下の課題を達成すべきことが分る。

- (1) ソーラーチムニーの作動能力を評価し、設計をおこなうための定量的方法を開発する()。
- (2) 蓄熱装置を備えた温室のシミュレーションモデルを構築し、それを模型温室で検証する(+)。
- (3) ソーラーチムニーを備えた蓄熱温室のシミュレーションモデルを構築し、それを模型温室で検証する(+ +)。

当初の目標と得られた成果との間には大きな乖離が生じた。ソーラーチムニーだけでなく、温室や蓄熱装置についても、初学者向けの教科書的資料の作成から始めなければならなかったからである。しかし、そのおかげで、環境工学や伝熱工学の専門家が見逃してきた、一般性の高い、平易で簡明な数値モデルに到達することができた(補足資料1&2)。したがって、これらを教材として活かすとともに、専門分野への学術情報として公表する予定である。また、今後の課題(補足資料3)については、特に実験態勢を立て直し、引き続き取り組む予定である。