サーミスタを用いた 惑星探査機搭載用気象測器の開発

岡山大学 理学部 地球科学科

05429528 竹本 悠人

2021/02/12

要旨

火星着陸探査機では、気温、日射量、熱放射量、風速等の気象観測を行うこと が期待されている.しかし、探査機に搭載する測器には重量やサイズ等に厳しい 制限が課せられており、気象観測を行う測器にも小形軽量であり頑健であること が求められる.

本研究では小形軽量で頑健な測器として多色温度計が実用可能かどうか検証す ることを目的として,多色温度計を実際に作成し,その性能評価を行った.

性能評価はまだ不完全な段階だが,理論上多色温度計を用いた気象観測が可能 であることが示される結果を得た.

目 次

第1章	序論	4
1.1	研究背景	4
1.2	研究目的	4
第2章	多色温度計	5
2.1	温度計の熱収支	5
2.2	多色温度計の気温測定原理.......................	6
第3章	装置の作成	8
3.1	サーミスタ	8
3.2	ハードウェアとソフトウェア	10
	3.2.1 概要	10
	3.2.2 ソフトウェア	11
第 4章	室内実験 1	2
4.1	器差補正	12
4.2	室内実験概要	16
4.3	測定結果	17

2021/02/12(竹本 悠人)

第5章	野外測定	25
5.1	野外測定概要	25
5.2	2020 年 12 月 22 日の測定	26
5.3	2021 年 1 月 20 日の測定	28
第6章	まとめ	31

第1章 序論

1.1 研究背景

気温,日射量,熱放射量,風速などの物理量は惑星表層環境探査における基本 的な測定項目である.重量や大きさに厳しい制限が課されている惑星探査におい ては,できるだけ軽量でかつ頑健な測器によって,それら気象要素の観測をおこ なうことが求められている.

1.2 研究目的

岡山大学地球および惑星大気科学研究室では、火星着陸探査機に搭載する次世 代型の小型軽量で頑健な測器を開発する一環として、「3色温度計」の基礎実験を おこなってきた (大田 2018, 丸山 2019). 3色温度計は高層気象観測に使用される ゾンデに搭載する測器として開発されたもので、実際に高層気象の観測に使用さ れた実績もある (Schmidlin et al. 1986).大田 (2018)は、熱電対を用いて「3色温 度計」を作成し、性能評価をおこなった.一定速度で上昇するゾンデの場合と異 なり、地上の固定された観測点で観測をおこなう場合には、温度計の示す温度が 測器周辺の風速に依存してしまうため、3色温度計だけで気温を測定することはで きないことが示された.丸山 (2019)は、3色温度計のとなりに風速計を設置して、 同時に測定する風速を用いて気温の測定を試み、気温の測定には風速を高い時間 分解能で精度よく決める必要があることを明らかにした.

本研究では4色以上の温度計を用いた「多色温度計」を作成し、その性能評価 をおこなった.4色の温度計を用いることで、気温の推定に必要となる風速を別途 測定するのではなく、風速も多色温度計の測定によって決定しようという目論見 である.

第2章 多色温度計

2.1 温度計の熱収支

温度計の熱収支は以下の式で表される.

$$C_x \frac{dT_x}{dt} = -h_x A_x (T_x - T_a) - \varepsilon_x \sigma T_x^4 A_x + \varepsilon_x L A_x + \alpha_x S A_x + Q_x \qquad (2.1)$$

式に出てくる各変数は、表 2.1 に示す通りである.

表 2.1: 熱収文の式に関わるパフメー

パラメータ	記号	単位	備考
温度計の出力	T_x	К	
熱容量	C_x	JK^{-1}	
温度計の表面積	A_x	m^2	
熱放射の射出率	ε_x		
日射の吸収率	α_x		
センサの発熱	Q_x	W	
時刻	t		
ステファン・ボルツマン定数	σ	$\mathrm{Wm}^{-2}\mathrm{K}^{-4}$	$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$
気温	T_a	Κ	
センサに入射する日射量	S	${\rm Wm}^{-2}$	夜間は0
センサに入射する熱放射量	L	${\rm Wm^{-2}}$	
熱伝達係数	h_x	$\mathrm{Wm}^{-2}\mathrm{K}^{-1}$	風速に依存

温度計の熱収支の式において,左辺は温度計の熱の変化率,右辺第1項は温度 計と周囲の空気との間の熱の出入り,第2項は温度計から射出される熱放射によ る温度計の冷却,第3項は入射する日射による加熱,第4項は入射する熱放射に よる加熱,第5項は温度計の発熱による加熱,である. この式において,温度計の示す温度は T_x であるが,式に示されるように T_x は 気温 T_a に一致するわけではなく,日射量S,熱放射量L,熱伝達係数 h_x 等の 影響を受ける.すなわち,空気中に剥き出しで置いた温度計は周囲の環境の影響 を受けているため,1つの温度計で測定しても気温を決定することはできない.一 方で,温度計の出力は気温だけでなく,日射量,熱放射量,熱伝達係数の情報を 持っていると見ることもできる.複数の温度計を用いて,気温,日射量,熱放射 量,熱伝達係数の影響を分離することができれば,温度計を用いて気温,日射量, 熱放射量,熱伝達係数を推定することができるということである.

2.2 多色温度計の気温測定原理

温度計の熱収支の式に含まれる変数のうち,添字のxが付いているものは各温 度計に固有のパラメタである.これらのうち,熱伝達係数 h_x 以外のものは,環境 によって値が変化するものではないので,あらかじめ実験室でその値を測定して おいたらよい.一方,気温 T_a ,日射量S,熱放射量L,そして風速に依存する熱 伝達係数 h_x ,これらは測定時の環境によってその値が変化する.ここで,温度計 は同一の形状のものを使用することにするならば,熱伝達係数 h_x は全ての温度計 に共通で,風速だけに依存する変数hに置き換えることができる.このとき,温 度計の熱収支の式は, T_a ,S,L,hの計4つの未知数を含む.同一の形状で日射の 吸収率 α と熱放射の放射率 ε が異なる温度計を用意して同時に観測をおこなうと, 温度計の数と同じ数の独立な熱収支の式を立てることができる.4つ以上の温度 計で同時に測定をおこなえば,4つ以上の式が得られ,それらを連立して解けば, T_a ,S,L,h,を推定することができる.さらに,熱伝達係数の風速依存性を実験 室で決めておけば,推定された熱伝達係数から風速を推定することもできる.

温度計の熱収支の式を利用した温度計に、3 色温度計 (Schmidlin et al. 1986) が ある.3 色温度計は日射の吸収率と熱放射の放射率が異なる3つの温度計で同時に 測定をおこなうことで、気温、日射量、熱放射量を推定する測器である.Schmidlin et al. (1986) の3 色温度計は一定速度で上昇するゾンデに搭載される測器であるた め、本来は風速に依存する熱伝達係数を一定として扱うことができる.そのため、 温度計の熱収支の式に含まれる未知数は、気温、日射量、熱放射量、の3つとな り、3 色の温度計を用いて気温、日射量、熱放射量の推定を行うことができる.

本研究は、地上の固定された観測点で測定することを想定して、風速一定の仮 定をせずに気温を測定する測器として、4色以上の色を使った多色温度計の実用可 能性を検証した.黒、白、銀、灰の4色の塗料を用いて塗装した温度計と、アル ミを巻き付けた温度計の計5色の温度計を作成し、実験室および野外で測定をお こなって、多色温度計による気温測定の可能性を検証した.

第3章 装置の作成

3.1 サーミスタ

サーミスタとは,英語では Thermistor = Thermally sensitive resistor と表され るように,温度が変わると抵抗値が変化する電子部品である (芝浦電子ウェブペー ジ「サーミスタってなに?」,https://www.shibaura-e.co.jp/products/what_ thermistor).本研究では,NTC サーミスタと呼ばれる種類のサーミスタをもち いて温度計を作成した.

NTC サーミスタの抵抗値 R は温度 T の関数として以下の式で与えられる.

$$R = R_0 \exp\left[B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \tag{3.1}$$

ここで, R_0 は温度 T_0 の時のサーミスタの抵抗値, B はサーミスタの B 定数と 呼ばれ, サーミスタの感度を示す定数である. 今回使用したサーミスタ (型番:103 JT-050)の B 定数は 3435 ± 1%(K) である.

サーミスタと抵抗 R_c を直列にした回路 (図 3.1) を作り、そこに一定の電圧 V_c をかけ、サーミスタにかかる電圧 V を測定する.



図 3.1: サーミスタと抵抗の分圧回路図

サーミスタの抵抗値 R は、測定した電圧 V から以下の式で計算される.

$$R = \frac{V}{V_c - V} R_c \tag{3.2}$$

これを式 (3.1) に代入して, 温度 T について解くと, 以下の式が導かれる.

$$T = \frac{1}{\frac{1}{B}\ln\left(\frac{R}{R_0}\right) + \frac{1}{T_0}}$$
(3.3)

$$=\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{B}\ln\left(\frac{V}{V_c-V}\frac{R_c}{R_0}\right)+\frac{1}{T_0}}}$$
(3.4)

本研究ではこの式を用いてサーミスタの温度を算出した.

3.2 ハードウェアとソフトウェア

3.2.1 概要

図 3.2 に本研究で作成したサーミスタを用いた温度測定装置を示す. この装置は マイコンに Arduino 互換ボード (Adafruit Feather M0 Adalogger)を用いて,サー ミスタと抵抗によって分圧された電圧をサーミスタの温度に変換して記録する. 多 色温度計として動作させることを想定して,最大6つのサーミスタで同時に測定 することが可能な構成とした. データの出力は Arduino 互換ボードからのシリア ル通信出力及び, Arduino 互換ボードに搭載された microSD カードリーダーを用 いた microSD カードへの csv ファイルとしての書き込みの2種類に対応している.



図 3.2: 作成した温度測定装置

3.2.2 ソフトウェア

この装置のソフトウェアはC言語, C++をベースとした Arduino 言語を用いて 記述した. ソフトウェアの動作は, 装置の電源を入れると同時に開始され, Arduino 互換ボードによって取得されたサーミスタと抵抗によって分圧された電圧をもと にサーミスタ6本それぞれの温度を算出する. その後, シリアル通信でのデータ の入力があった場合, microSD カードへの csv ファイルとしての書き込みとシリア ル通信による温度の出力を行い, シリアル通信でのデータの入力が無い間はシリ アル通信による温度の出力のみを行う. これを設定した時間間隔で繰り返すとい う動作を行う.

第4章 室内実験

4.1 器差補正

器差とは、測器が示す値と本来示すべき値の差である.それぞれの温度計が持 つ器差をあらかじめ調べておいて、測定によって得られた値を補正する.本研究 ではサーミスタの器差補正を以下の手順によっておこなった.まず、6本のサーミ スタを水に浸けた状態で10時間の連続測定をおこなった(図4.1).熱容量の大き い水に浸けることで、6本のサーミスタが同じものの温度を測定すると期待した. 6本のサーミスタが示した温度の平均を計算し、それをサーミスタが本来示すべ き温度として、各サーミスタの器差を決定した(表4.1).図4.2から図4.7は、各 サーミスタ温度の平均からのずれを描いたものである.今回実験に使用した6本 のサーミスタ全てについて、バイアスやドリフトは見られない.







図 4.2: 白のサーミスタ温度の平均からのずれの推移



図 4.3: アルミを張り付けたサーミスタ温度の平均からのずれの推移



図 4.4: 銀のサーミスタ温度の平均からのずれの推移



図 4.5: 灰色のサーミスタ温度の平均からのずれの推移



図 4.6: 黒1のサーミスタ温度の平均からのずれの推移



図 4.7: 黒2のサーミスタ温度の平均からのずれの推移

	白	アルミ	銀	灰	黒1	黒2	平均
10 時間平均 (°C)	16.20	16.08	16.04	16.19	16.15	16.27	16.15
平均からのずれ (°C)	0.04	-0.07	-0.11	0.04	-0.01	0.11	
ずれの標準偏差 (°C)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	

表 4.1: 各サーミスタの補正量

4.2 室内実験概要

作成した装置の動作試験及び,温度計に固有のパラメータ ε_x , α_x を求めることを目的として,実験室内での実験を行った.

図 4.8 に室内の実験で使用した装置を設置した部屋の写真を示す.



図 4.8: 装置を設置した実験室

実験室は暗室にすることができ,投光器を用いて日射を模擬した.ホットプレートは地面からの熱放射を模擬するものとして設置した.また,送風機の起こす風によって,風速に対するサーミスタの応答を調べた.

投光器は2つ付けた場合,1つ付けた場合,オフの時の3段階,ホットプレート は最弱,最強,オフの3段階,送風機は弱,中,強,オフの4段階の組み合わせで 実験を行った.

4.3 測定結果

各実験の設定は表 4.2, 結果は図 4.9 から図 4.15 である.

	投光器	ホットプレート	送風機
実験1	オフ	オフ	オフ
実験2	オフ	最弱	オフ
実験3	オフ	最強	オフ
実験4	2つオン	オフ	オフ
実験5	1つオン	オフ	オフ
実験6	オフ	最弱	弱
実験7	オフ	最強	弱

表 4.2: 室内実験の設定





図 4.9: 室内実験1(投光器:オフ,ホットプレート:オフ,送風機:オフ). (a) サーミスタ温度(器差補正無し).(b) 超音波風速計で測定した風速.





図 4.10: 室内実験 2(投光器:オフ,ホットプレート:最弱,送風機:オフ). (a) サーミスタ温度 (器差補正無し). (b) 超音波風速計で測定した風速.時刻 0 は, ホットプレートの出力を最弱に設定してから 900 秒後.





図 4.11: 室内実験 3(投光器:オフ,ホットプレート:最強,送風機:オフ). (a) サーミスタ温度 (器差補正無し). (b) 超音波風速計で測定した風速.時刻 0 は, ホットプレートの出力を最強に設定してから 500 秒後.





図 4.12: 室内実験4(投光器:2つオン,ホットプレート:オフ,送風機:オフ) (a) サーミスタ温度(器差補正無し). (b) 超音波風速計で測定した風速.投光器を 2つオンにしたタイミングは黒線で示される時刻80.





図 4.13: 室内実験 5(投光器:1つオン,ホットプレート:オフ,送風機:オフ) (a) サーミスタ温度 (器差補正無し). (b) 超音波風速計で測定した風速.時刻 0 は, 投光器を1つオンにしてから 300 秒後.







図 4.14: 室内実験 6(投光器:オフ,ホットプレート:最弱,送風機:弱 (a) サーミスタ温度 (器差補正無し). (b) 超音波風速計で測定した風速.時刻 0 は, ホットプレートの出力を最弱,送風機を弱に設定してから 300 秒後.







図 4.15: 室内実験7(投光器:オフ,ホットプレート:最強,送風機:弱 (a) サーミスタ温度(器差補正無し). (b) 超音波風速計で測定した風速.時刻0は, ホットプレートの出力を最強,送風機を弱に設定してから300秒後.

第5章 野外測定

5.1 野外測定概要

図 5.1 に野外測定で設置した装置の写真を示す。脚立の上に超音波風速計を固定し、超音波風速計の上部に作成した多色温度計を養生テープで固定した。



図 5.1: 設置された多色温度計と超音波風速計

場所はアメダス (岡山) の横,約10 m,測温部が地表 1.5 m の高さに位置する ように設置して,温度と風速を1秒間隔で測定した.

表 4.1 に測定日時, 天気, 測定中の日照時間, 測定地点への日射の有無を示す.

表 5.1: 野外測定の日時と測定時の天候

測定日時	天気	日照時間(分)	測定地点への日射
2020/12/22 16:00 - 16:42	晴れ	9	無
2021/01/20 10:00 - 11:03	快晴	63	有

5.2 2020年12月22日の測定

測定時の天候は晴れではあるが雲が多く,また,観測点は建物の影に入っていた.サーミスタの温度は色によらずほとんど同じ(図 5.2)となったのは,天候と建物の影に入っていたためであると考えられる.サーミスタの温度はアメダスの気温とほぼ同じであった.日射の弱い環境では,特別な工夫などしなくても気温はそこそこの精度で測定できることが示唆される.一方で,超音波風速計が測定した音温度は,アメダスの気温やサーミスタの温度と明らかに異なっている.水蒸気量で説明できる範囲を超えており,異なる温度が測定された原因は不明である. 16:00から16:05に銀色のサーミスタの温度が不自然な振る舞いをしているように見えるが,原因は不明である.



(a) 温度



(b) 風速

図 5.2: 2020 年 12 月 22 日の測定結果

(a) サーミスタ温度 (器差補正無し), 音温度, アメダスの気温. (b) 超音波風速計 で測定した風速. 図 5.3 は、2020 年 12 月 22 日に行った測定の結果から、風速と黒のサーミスタの 温度の関係を描いたものである。2020 年 12 月 22 日のデータについて、黒のサー ミスタの温度と風速の間には関係がないように見える。周囲の空気との熱交換の 大きさは、気温とサーミスタの温度差に比例する (式 3.1).サーミスタの温度はア メダスの気温と近かったため、そもそも熱交換が少なく、風速による熱伝達係数 の変化の影響が見えずらくなったものと考えられる。



図 5.3: 2020 年 12 月 22 日の測定における風速と黒のサーミスタ温度の関係 縦軸は黒 1 で表されるサーミスタの出力する温度 (°C),横軸は風速 (m/s).

5.3 2021年1月20日の測定

測定時の天候は快晴,観測点が建物の影に入ることはなく,測定中は常に日差 しの下にあった.サーミスタの温度は色によって異なり(図 5.4),日射の吸収率が 大きい黒のサーミスタの温度は高く,日射の吸収率が小さい白やアルミのサーミ スタの温度は低い.日射の吸収率が中くらいである銀と灰のサーミスタは,黒と 白やアルミの間の温度となった.サーミスタの温度はいずれもアメダスの気温よ り高い温度を示した.日射を吸収して温まったためであると考えられる.アメダ スの気温は10分おきではあるが,測定の間,ほとんど変化していないように見え る.一方,サーミスタの温度は変動している.後で示すように,サーミスタ温度 の変動は風速の変動によるものと推察される.超音波風速計が測定した音温度は, 2020年12月22日と同様に,アメダスの気温よりも高かった.アメダスの気温か らずれた原因は不明である.



(a) 温度



(b) 風速

図 5.4: 2021 年 1 月 20 日の測定結果.

(a) サーミスタ温度 (器差補正無し), 音温度, アメダスの気温. (b) 超音波風速計 で測定した風速. 図5.5は、2021年1月20日の測定の結果から、風速と黒のサーミスタの温度の 関係を描いたものである.図5.4の(a)と(b)を見てもわかるように、サーミスタ の温度は、風速が速いときに下がり、風速が遅いときに上がる.日射や熱放射に よって加熱されている黒のサーミスタの温度は気温よりも高いため、周囲の空気 との熱交換は冷却として働く.風速が速くなって熱伝達係数が大きくなると、熱 交換が大きくなって、黒のサーミスタの温度は低下したと考えられる.サーミス タ温度が風速に依存するということは、サーミスタ温度から風速を推定すること が原理的に可能であることを示す.



図 5.5: 2021 年 1 月 20 日の測定における風速と黒のサーミスタ温度の関係 縦軸は黒 1 で表されるサーミスタの出力する温度 (°C),横軸は風速 (m/s).

第6章 まとめ

6本のサーミスタの抵抗値から温度を算出し記録する機能を持った温度測定装置 を作成した.

作成した温度測定装置を用いて実験室内での実験を行い,温度測定装置の動作 確認とサーミスタの器差補正を行った.サーミスタ温度は,日射の吸収率,熱放射 の放射率,風速,などに依存することが示された.条件を制御した実験をおこなっ てその結果を解析することで,日射の吸収率 α_x ,熱放射の放射率 ε_x ,熱伝達係数 h_x の風速依存性,などを決定することは原理的に可能であることが示された.

作成した温度測定装置を用いて野外で測定をおこなった.日射や風速によって サーミスタの温度に違いがでることを確認した.多色温度計によって,気温や風 速を測定することが原理的に可能であることが示された.

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導いただきました指導教員であるはしもとじょー じ教授、実験道具を貸して下さった野沢徹教授に深く感謝致します.

参考文献

Schmidlin, F. J., J. K. Luers, P. D. Huffman (1986) "Preliminary Estimates of Radiosonde Thermistor Errors" NASA Thechnical Paper 2637, 15pp.

大田凌平 (2018) 惑星探査用気象測器の開発:3色温度計による気温測定の基礎実験.

岡山大学理学部地球科学科 卒業論文.

丸山敬貴 (2019) 惑星探査用気象測器の開発:3色温度計による気温測定. 岡山大学理学部地球科学科 卒業論文.

芝浦電子ウェブページ「サーミスタってなに?」 https://www.shibaura-e.co.jp/products/what_thermistor

付録

3.2.2 で述べたソフトウェアのソースコードを以下に記載する.

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
//変数の宣言
 //SDカード関連
 char fileName [16];
 int fileNum = 0;
 const int chipSelect = 4;
//サーミスタ計算関連
 float Vin = 3.3; //供給電圧
 float T0 = 298.15; //摂氏25度のケルビン温度
 //データロガー1の抵抗値
 /*
 float R1 = 9900; //R1の抵抗値 A0
 float R2 = 9910; //R2の抵抗値 A1
 float R3 = 9840; //R3の抵抗値 A2
 */
 //データロガー2の抵抗値
  float R1 = 9920; //R1の抵抗値 A0
 float R2 = 9930; //R2の抵抗値 A1
 float R3 = 9910; //R3の抵抗値 A2
 float R4 = 9920; //R4の抵抗値 A3
 float R5 = 9910;
 float R6 = 9880;
 //変数
 float R0 = 10000.0; //摂氏25度のサーミスタの抵抗値
 float B = 3435.00; //B値(K)
  float Vout1 = 0; //分圧された電圧
```

```
float Vout2 = 0;
 float Vout3 = 0;
 float Vout4 = 0;
 float Vout5 = 0;
 float Vout6 = 0;
 float Rth1 = 0; //サーミスタ1の抵抗値
 float Rth2 = 0; //サーミスタ2の抵抗値
 float Rth3 = 0; //サーミスタ3の抵抗値
 float Rth4 = 0; //サーミスタ4の抵抗値
 float Rth5 = 0;
 float Rth6 = 0;
 float Temp1 = 25.00; //サーミスタ1の摂氏温度
 float Temp2 = 25.00; //サーミスタ2の摂氏温度
 float Temp3 = 25.00; //サーミスタ3の摂氏温度
 float Temp4 = 25.00; //サーミスタ4の摂氏温度
 float Temp5 = 25.00;
 float Temp6 = 25.00;
 // 経過時間
 int sec = 0;
 String str ;
//セットアップ
void setup() {
 //シリアルポート開放
 Serial.begin(9600);
 /*while (!Serial) {
   ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
 }:*/
 //ピン設定
 pinMode(8, OUTPUT);
 Serial.print("Initializing SD card...");
 if (!SD.begin(chipSelect)) {
   Serial.println("Card failed, or not present");
   // don't do anything more:
   while (1);
 }
```

```
Serial.println("card initialized.");
  // ファイル名決定
  String s;
  while (1) {
   s = "TEMP";
    if (fileNum < 10) {
     s += "00";
    else if(fileNum < 100) 
      s += "0";
    }
    s += fileNum;
    s += ".TXT";
    s.toCharArray(fileName, 16);
    if (!SD. exists (fileName)) break;
    fileNum++;
  }
}
//ループ
void loop() {
 //シリアル入力
  if (Serial.available() > 0) { // 受信したデータが存在する
    str = Serial.readStringUntil(':'); // 受信データを読み込む
    Serial.print("Data received: "); // 受信データを送りかえす
    Serial.print(str);
    \sec = \sec + 1;
  }
  //分圧された電圧のアナログ値を読み取る
  float Therm1 = analogRead(A0);
  float Therm 2 = \text{analogRead}(A1);
  float Therm3 = \text{analogRead}(A2);
  float Therm4 = \text{analogRead}(A3);
  float Therm 5 = \text{analogRead}(A4);
  float Therm6 = analogRead(A5);
  //分圧された電圧
  Vout1 = (Therm1 / 1023) * Vin;
```

```
Vout2 = (Therm2 / 1023) * Vin;
Vout3 = (Therm3 / 1023) * Vin;
Vout4 = (Therm4 / 1023) * Vin;
Vout5 = (Therm5 / 1023) * Vin;
Vout6 = (\text{Therm6} / 1023) * \text{Vin};
//摂氏温度の計算
Rth1 = (Vin / Vout1 - 1.0) * R1;
Rth2 = (Vin / Vout2 - 1.0) * R2;
Rth3 = (Vin / Vout3 - 1.0) * R3;
Rth4 = (Vin / Vout4 - 1.0) * R4;
Rth5 = (Vin / Vout5 - 1.0) * R5;
Rth6 = (Vin / Vout6 - 1.0) * R6;
\text{Temp1} = 1.0 / ((1.0 / B) * \log(\text{Rth1} / R0) + (1.0 / T0)) - 273.15;
\text{Temp2} = 1.0 / ((1.0 / B) * \log(\text{Rth2} / R0) + (1.0 / T0)) - 273.15;
Temp3 = 1.0 / ((1.0 / B) * log(Rth3 / R0) + (1.0 / T0)) - 273.15;
Temp4 = 1.0 / ((1.0 / B) * log(Rth4 / R0) + (1.0 / T0)) - 273.15;
Temp5 = 1.0 / ((1.0 / B) * \log(Rth5 / R0) + (1.0 / T0)) - 273.15;
\text{Temp6} = 1.0 / ((1.0 / B) * \log(\text{Rth6} / R0) + (1.0 / T0)) - 273.15;
//温度のシリアル表示
Serial.print(sec); Serial.print(", ");
                                        ");
Serial.print(Temp1,3); Serial.print(",
Serial.print(Temp2,3); Serial.print(",
                                        ");
Serial.print(Temp3,3); Serial.print(",
                                       ");
                                        ");
Serial.print(Temp4,3); Serial.print(".
Serial.print(Temp5,3); Serial.print(", ");
Serial.println(Temp6,3);
//SDカードへ書き込み
//風速計からデータが入力されてなければ書き込まない
if(str = NULL)
  //Serial.println("Don't received");
  delay (1000);
  \sec = \sec +1;
}else{
  if (\sec \% 5 = 0 || \sec = 0)
    digitalWrite(8, HIGH);
    File dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
```

}

}

```
// if the file is available, write to it:
  if (dataFile) {
    dataFile.print(sec); dataFile.print(",");
    dataFile.print(Temp1); dataFile.print(",");
    dataFile.print(Temp2); dataFile.print(",");
    dataFile.print(Temp3); dataFile.print(",");
    dataFile.print(Temp4); dataFile.print(",");
    dataFile.print(Temp5); dataFile.print(",");
    dataFile.print(Temp6); dataFile.print(",");
    dataFile.print(str);
    dataFile.close();
  }
  // if the file isn't open, pop up an error:
  else {
    Serial.println("error opening Temp.txt");
  }
  delay (1000);
  \sec = \sec +1;
  digitalWrite(8, LOW);
}
else {
//ディレイ1秒
delay(1000);
\sec = \sec +1;
}
```