View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Hiroshima University Institutional Repository

学校教育実践学研究，2021，第27巻，139－144頁

# 移動観測による局地気象観測の授業実践
## ―学部生と大学院生の捉え方の違い―

吉冨　健一・磯村　美優*

（2020年12月7日受理）

Classroom practice of local meteorological observation
:The respective attitudes of the Students of Undergraduate and Graduate Sclools

Kenichi Yoshidomi and Miyu Isomura

Using a thermometer with a small time constant and a smartphone as a GPS function, we made mobile observations to investigate the spatial distribution of temperature in the classroom. It became clear that there is a significant difference in approach between undergraduate and graduate students in a observation of natural phenomena for which there is no clear answer, as in the case of meteorological observations.

Key words：mobile observations, local weather, weather, temperature, GPS

## 1．はじめに

夏の暑い時，涼しい場所は猫に聞け，というほどに，場所によって地面の温度は異なる。猫が暑い夏には涼しい場所，寒い冬には暖かい場所を上手に探し出すのは，足裏の感覚によるものと思われるが，場所が違うと地面の温度が異なるのであれば，当然その上にある空気の温度も異なる。

猫に教わるまでもなく，日常歩いている際に，暑さをより強く感じる場所や，木陰のように気温の割にヒンヤリと涼しく感じる場所があることは経験的に知られている。人間が暑さや涼しさを感じるのは，日射に加え，地面からの赤外放射や風速から求めることのできる簡易体感温度[1]に基づくため，必ずしも気温と直接的な相関があるわけではないが，歩く距離と速度で違いが感じられるということは，それなりに気温も変化しているものと思われる。ところが気温の分布を定量的に評価しようとすると様々な困難が待ち受ける。

一般的に気温分布の調査では，定点観測と移動観測の2つの方法が用いられる[2]。観測する場所を固定して行う定点観測は，時間の経過に伴う変化を観測するのに適している。気象庁のAMeDAS（Automated Meteorological Data Acquisition System）はこの代表で，およそメソβスケールの気象現象を捉えることを目的として，全国約1,300箇所の観測点で，雨量や気温の観測を行っている。壁や机に温度計を設置するのは，この定点観測に該当する。これに対し移動観測は，一つの温度計を持ち歩いて移動させつつ観測を行う方法である。そのため，場所の変化に伴う気温の変化を測定し“気温の分布”を把握するのに適している。

気温の分布を詳細に把握するためには，固定観測では，観測の密度を上げる必要がある。そのためには多くの観測点を設置する必要があり，観測地点が多くなるとその数に比例して，観測機器の設置，器差の補正，データ回収等の作業負担が大幅に増加する。そのため狭い範囲とはいえ，気温分布の調査は，従来，授業等で簡単に実施できるものではなかった。

これに対し移動観測では，気温の分布状況を正確に捉えるために，短い時定数と正確な位置情報が必要とされる。温度計の時定数とは，温度計を構成する素子の温度が，周囲の気温との温度差の63.2％に達するまでに要する時間を指し，一般のガラス製アルコール温度計では，200秒前後である[3]。移動観測を行う際には，数十秒程度の時定数を持つ温度計が必要となるとともに，観測地点

*広島大学教育学部

の位置情報を緯度経度の情報として正確に記録できる GPS（Global Positioning System）が必要になる。

近年，普及の進んだスマートフォンには GPS 機能が内蔵されており，さらにスマートフォンと連携可能で時定数の小さい温度計が，比較的安価で入手できるようになった。これらを受けて，移動観測が実施しやすい環境が整ったといえる。

平成 30 年告示の高等学校学習指導要領では，地学基礎や地学において，科学的に探究するための必要な資質・能力を育成するために，観察，実験などを行い，探究の過程を踏まえた学習活動を行うことが求められている (4。また一方，地球や地球を取り巻く環境については，生徒が観察や実験をすることが難しいものも含まれるため，地球や宇宙に関する調査，観測などにより得られた情報や資料を基にした実習も大切である (4 とも指摘されている。

移動観測そのものは観測機器の発達や，ソフトウェアの進化により比較的容易に実施可能になったものの，気象現象は，時々刻々と変化するものである。岩石や地層の観察のように，同じ場所に行けば同じ様に観察できるというものではなく，季節・時刻・気象条件など，様々な要因によって観測結果は毎回異なるという特徴を持つ。

将来，学校現場で教師として生徒を指導する立場となる学生には，自然現象の中でもいわゆる気象現象のような明確な答えの無い現象に対して，探究的な活動を指導できる資質を有してもらいたいと考えた。そこで学部 3 年生および博士課程前期 1 年を対象とした大学院の授業内において，移動観測により“気温の時間と空間の変化”を捉えるための実習を実施した。本論では，移動観測による気温分布の観測方法について説明するとともに，実習において提出されたレポートの比較に基づき，同様の実習を行った際の，学部生と大学院生の取り組み方の違いについて比較を行う。

## 2．移動観測の実施方法

実習では，まず気温が場所によって異なる理由を考察するため，日射や風向・風速，地面の被覆状況の違いなど様々な要素と，“気温の空間分布”との相関を調べることとした。

### 2－1．使用機器

気温の測定には，「TR42」（T&D 社製）を使用した。TR42 の測定分解能は 0.1°C，測定範囲は 60～155°C，時定数は空気中で約 30 秒である。TR42 は，iOS および Android 用に公開されている専用アプリケーション「ThermoREC」（無料）を用いて，スマートフォンと Bluetooth 接続することで，スマートフォンの時刻に連動する形で気温を観測することが可能である。また，観測終了後には ThermoREC から，観測データをメールで送信したり Google Drive へ CSV 形式で保存したりできる。気温の測定間隔は，最短 1 秒から任意の時間に設定することができるが，今回は歩く速度を考慮して 10 秒とした。

気温の測定結果と対になる観測場所の記録には，スマートフォンの GPS 機能を利用した。位置情報を取得・記録するための GPS ロガーアプリは iOS や Andoroid 等, OS の種類にかかわらず多くの無料アプリが公開されている。データ取得の時間間隔が気温の測定間隔と同じ 10 秒に設定できるものであれば，どのアプリを使用しても問題ない。代表的なものは「Geograhica」と呼ばれるアプリで iOS／Andoroid 用に同じ名称で提供されている。今回用いた Geograhica は，記録した緯度経度の情報を，メール送信したり Google Drive や Dropbox 上へ保存することが可能である。

気温の測定にあたり，TR42 が専用アプリを通して位置情報取得のためのスマートフォンと時刻を同期していることは，データ集計の観点から非常に重要である。もし GPS 機器を TR42 と別に準備した場合，TR42 の時刻と GPS の時刻がずれていると，位置情報と温度情報にずれが生じることになり，移動観測を行う上で致命的なエラーを生じる。

### 2－2．観測方法

気温を正しく観測するためには，温度センサーに日光が直接あたらないよう，日射シェルターで覆う必要がある。日射シェルターは，既製品としても購入可能であるが，専門機器のため非常に高価である。そのため，今回は厚紙とアルミホイルを用いて四角柱の日射シェルターを自作し，温度を感知するセンサー先端部に固定した（図 1）。日射シェルターは，観測時にどちらの方角を向いても日光が直接センサーにあたらないように工夫するとともに，移動時にはセンサーの周りに空気が十分通るよう工夫する必要がある。

気温の測定は，TR42 と連動したスマートフォンの ThermoREC と，GPS ロガーの記録をスタートさせて観測するルートを移動する。移動につ

いては，TR42 の時定数が 30 秒であることから，徒歩を基本とし，移動経路については，自分たちの観測の目的に適合した観測ルートを事前に計画しておく。実際の観測にあたっては，スマートフォンの省電力機能が働き，測定の途中で ThermoREC や GPS ロガーアプリが停止してしまうことがないよう，事前に設定確認を行うなど注意が必要である。

気温測定の注意点としては，地表からの垂直距離に応じて気温は変化するため，観測機器の高度が地面から一定の距離を保持する工夫が必要である。また，後述する時刻補正のため，観測の最初と最後は，同じ地点となるように測定を行うことが推奨される。

観測終了後は，ThermoREC により記録された気温の情報と，GPS から得られた緯度経度の情報を，時間をキーとして結合させる作業が必要となる。これにより位置情報＋気温情報というデータを作成し，後述する GIS ソフトウェアを用いて，気温の分布として表示する。

ところが，スマートフォンで測定間隔を 10 秒と設定しているにもかかわらず，今回測定に用いた GPS ロガーアプリでは，位置情報の測定間隔が 9〜11 秒あたりでばらつきが生じることが判明した。これは衛星自体の軌道情報の誤差や，大気の状態変化による遅延，受信する携帯側の時計の誤差などによる，GPS 信号のゆらぎに起因すると考えられる。そのため今回の実習では，GPS の位置情報取得は 2〜3 秒の短い間隔で行い，観測終了後に観測数が少ない場合は手作業で，多い場合は，エクセルの VLOOKUP 関数を用いて，温度の計測時間に最も近い位置情報をログから選択して使用した。

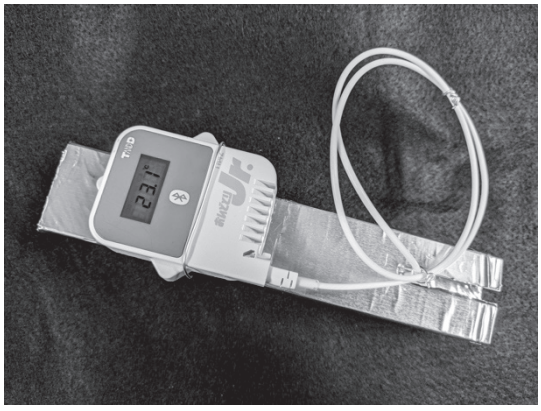

図 1　TR42 と自作日射シェルター

2−3．観測値の補正

移動観測では，移動しながら観測を行うため，同じ時刻に異なる場所の気温を測ることはできず，測定時刻が異なれば，当然気温も変化する。そのため，観測の最初と最後が同じ地点になるよう観測を行い，観測開始時と観測終了時で変化した気温を元に，観測結果の補正を行う。

10 分程度（歩行距離 1 km 程度）の観測であっても，観測前と後で気温が一定の値を示すことは稀である。仮に前後で同じ温度であったとしても，その間一定の温度であったという保証はない。そのため，移動観測中の気温の変化の影響を最小限にするためには，1 日の中でも温度の変化が少ない昼下がりや早朝に観測を行うことが望ましいが，それでも何かしら観測結果を補正する必要が生じる。補正の方法としては，観測開始時と終了時の気温の比較をもとにそれぞれの観測値の補正を行う時刻補正と呼ばれる方法がある。時刻補正は，補正する基準点をどこに定めるかによって方法が異なる。

開始時の気温を基準とする場合＝開始時と終了時の気温の差を測定時間で割り，観測の開始から終了まで一定の割合で温度が変化したとして補正を行う。

終了時の気温を基準とする場合＝補正の仕方は開始時を基準とする場合と同様だが，終了時の気温を基準として補正を行う。

中間地点の気温を基準とする場合＝こちらも補正の仕方は同様だが，観測時の中間地点における気温を補正の基準として補正を行う。

その他にも，開始地点に基準となる温度計（定点観測）を設置しておき，この温度計の温度変化を基準に，移動観測の観測結果を補正する方法などがある。

2−4．観測結果の視覚化

観測結果を地図上に示し，気温の空間分布を視覚化するためには埼玉大学教育学部の谷謙二氏が作成したフリーの GIS ソフトである MANDARA を用いる。MANDARA は，同氏のホームページ (http://ktgis.net/mandara/) から無料でダウンロード可能であり，学校などの管理者権限の無い端末でも利用できるようインストール不要版も用意されている。本ソフトの特徴は，エクセルで整理した観測データを，地理院地図（地形図）や空中写真上にそのままプロット可能なことである。

測定結果を MANDARA 上で視覚化する方法と

しては，観測値（補正値）をそのまま表示する方法や，基準となる気温を決め，各地点の気温を基準温度から差し引いた“気温偏差”として表示する方法など，さまざまな表現方法がある。気温の偏差として表示する場合には，基準となる気温を開始地点，終了地点あるいは各地点から求めた平均気温などを適宜用いる。

### 3．気温が上昇するしくみ

人間が感じる体感温度は，“簡易体感温度指標”と呼ばれる数値によって評価される(1。この簡易体感温度指標は，可視光線による日射の影響・地面からの赤外放射の影響・風速から求められる数値であり，人間が感じる暑さや涼しさは，気温とは直接結びつかないことを示す。この簡易体感温度指標にもとづくと，打ち水をして地面の温度を下げることで，例え気温が変化しなかったとしても体感温度は約 1.5 ℃低下する(1。

1 日の気温の変化については，小学校の第 4 学年の「天気の様子」の単元において学習する。小学校教科書の記載に関して調査を行うと，平成 26 年検定の教科書 6 社中 4 社には，1 日の中で気温が最も高くなる時刻として「午後 2 時ごろ」との表記があり，1 社では「午後 1 時から 2 時ごろ」という表記となっている。

気温を変化させるもととなる地面の温度変化に関しては，小学校の第 3 学年の「太陽と地面の様子」の単元において学習する。ここでは「地面は太陽によって暖められ，日なたと日陰では地面の暖かさや湿り気に違いがあること(5」の理解が求められている。ところが日なたと日陰以外にも，地表面を被覆する物質の違いにより，地面の暖まり方が異なる。同様に，温度計を直接地面に置いたとしても比熱の違いにより，温度計と地面では暖まりやすさが異なるため，地表面の温度を直接測定することは難しい。温度計を地面にあまり深く差し込むと，地表面の温度が反映されず，“地面の温度”と言葉で言うほどには簡単に地表面の温度を測定することはできない。それでも校庭で測定を行った結果によると，晴れた日では 12:30 から 13:30 にかけて地表面の温度のピークが訪れる(6 という結果が得られている。

これら学習内容と測定の結果から，太陽と地面のなす角が最も大きくなる太陽の南中時刻に，地面が太陽から受け取るエネルギーは最も大きくなるが，地面の温度が最も高くなるのは南中時刻を過ぎた 13 時頃，さらに 1 日のうちで気温が最も高くなるのは 14 時頃にかけてと，それぞれ時間差が生じているということがわかる。そこから，太陽放射により地面が温まり，温まった地面から空気に熱が伝わるのにはそれぞれ時間が必要となる，ということがわかる。

温まった地面から空気への熱の伝わり方を，簡単な計算でシミュレートすることができれば，より理解が深まる。しかし，地面から空気への実際の熱の伝わり方は，顕熱，蒸発による潜熱，地中からの伝導熱など様々な経路によってもたらされ，それぞれが日変化するため，熱伝導方程式を解析的に解くことは非常に困難である(7。図 2 は，アメリカ・オニール平原において観測された，夏の晴天日の接地層内における気温の鉛直分布の時間変化である(8。地表面からの高さは対数目盛で表してあり，温度は 2 時間ごとの分布を右へ 4 ℃ずつずらしてある(8。これによると，日の出から日の入りまでは，常に地面に近いほど空気の温度が高い傾向にある。

日中，地面からの距離の違いによって空気の温度が異なるとなると，そもそも気温とは何か？という定義が必要となる。地上の気温の測定方法は，世界気象機関により規定されており，地上から 1.25～2.0 m の高さで，温度計を直接外気に当てないようにして測定することと定められており，特に日本では気象庁により測定高さを 1.5 m と定められている(9。

空気の熱伝導率は，密度の低い気体であることに起因して，液体や固体に比べると圧倒的に低い。これらを総合的に考慮すると，日本では 1.5 m の高さの空気の温度とされている“気温”が，日射によって地面が最も熱くなる時間帯から約 30 分から 1 時間も遅れて最も高くなる原因として，地面の熱で暖められて軽くなった空気がじりじりと対流によって上昇し，地面の熱が 1.5 m の高さの

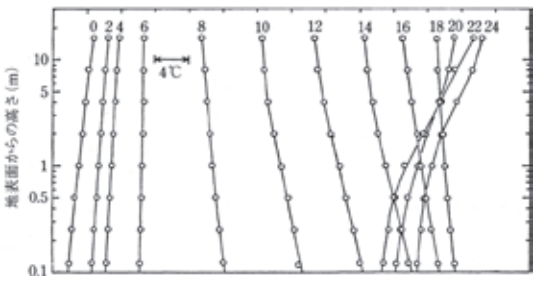


図 2　地表面からの距離と気温の変化の関係
近藤（2000）を改変

空気に伝わるまでに時間がかかるという様子が見えてくる。

このことから，移動観測によって捉えた気温の分布は，約 1 時間前の地表面の温度を反映している可能性があることが想定される。加えて風が強い日には，空気がかき乱されるため，場所による気温の変化は起こりにくいであろうことを示す。

ただ気温に影響を与える地表面の温度分布が，そもそもどのように形成されるかに関しては，同じ様に日射があたったとしても，暗色のアスファルトは非常に高温になるのに対して，樹林，草地など植物により覆われる場所では，温度上昇が抑えられる傾向にある。これは植物は，気温の高い日中には蒸散により温度を調節する作用があることや，光合成をより効率的に行うため，光合成に用いることのできる波長から外れる赤外線などの長波長の光を反射させる作用があること，さらに植生がある場所では基本的に土壌が露出しており，地表面の温度が上昇するにつれ，地表面からも水分が蒸発することで気化熱が奪われ，温度上昇が抑えられるという作用が働くためである。

## 4．提出されたレポート

本研究では，理科の教員を目指す学部 3 年生（11 名）を対象とした集中講義，および博士課程前期 1 年（6 名）を対象とした大学院の授業内の 2 つにおいて，移動観測により“気温の時間と空間の変化”を捉える実習を実施した。

学生の自由な発想を邪魔しないよう“時間と場所の違いにより，気温がどのように変化するか捉えて欲しい”という指示だけ伝え，移動観測を実施するコースは指定せず，観測時間や観測するルートについては各自で考案させた。提出されたレポートに基づき，学部生と大学院生の観測における視点の違いを表 1 にまとめる。

レポートの分析においては，観測を正しく実施しているかを問う“気温分布の計測”，“観測結果の解釈”についてどこまで考慮しているかの評価，観測自体における“科学的な探求の姿勢”について，それぞれの項目中に何点かの下位項目を設定し，分析を行った（表 1）。

“気温分布の計測”の項目は，移動観測を行う上で最低限必要とされる「実施日時や日照時間・風向・風速などの気象条件をきちんと記録しているか」という点と，「自分たちの観測の目的に適したコースを適切に選択しているか」という点について評価を行なった。

**表 1．学部生と大学院生の観測の際の視点の違い**

| 気温分布の計測 | 学部生 | 院　生 |
|---|---|---|
| 実施時間や気象条件を記録 | 81.8% | 100% |
| 天気（日照）の変化を記録 | 36.4% | 50% |
| 観測に適したコースを選択 | 18.2% | 100% |
| **観測結果の解釈** | | |
| 場所により気温差があると把握 | 100% | 100% |
| 地表の被覆状況 | 100% | 100% |
| 時間による影の位置の変化 | 81.8% | 33.3% |
| 周囲の環境の違い（地面以外） | 72.7% | 83.3% |
| 被覆物の比熱の違い | 45.5% | 0.0% |
| 測定値を適切に補正 | 36.4% | 66.7% |
| 建物の密集度・高さ | 36.4% | 16.7% |
| 風通り | 27.3% | 66.7% |
| 人工排熱による気温上昇 | 0.0% | 16.7% |
| 気温の補正方法の適切さに言及 | 0.0% | 50.0% |
| **科学的な探究の姿勢** | | |
| 観測結果に疑問・課題を見出す | 0.0% | 50.0% |
| 予想・仮説の設定 | 0.0% | 33.3% |
| 仮説を検証する観測の立案 | 0.0% | 83.3% |
| 仮説検証のため観測条件を制御 | 0.0% | 66.7% |
| 結果や考察に基づき再び観測 | 0.0% | 33.3% |

この項目では，大学院生は自分の観測の目的を示し，何を明らかにするために観測のコースを設定したのか理由を明示しているのに対して，学部生のレポートでは，なぜそのコースを選択したのか明確な記述が抜けているものがあった。

“観測結果の解釈”に関して，観測結果の整理については，学部生・大学院生ともに MANDARA にプロットした点の色の違いで低温域と高温域を表現し，なぜそこの気温が高い・低いかを日なたや日陰，地表被覆の状況に着目してまとめていた。ただし，ヒートアイランド現象や地表の被覆状況による気温の変化への影響についての記述や，気温と日当たりの関係の考察など，気温の変化が生じる原因の考察については，学部生と大学院生でそれぞれ一長一短があった。

“観測結果の解釈”における最も大きな違いは，移動観測で場所により変化する気温を，固定観測により明らかになる気温上昇など，気温そのものの変動により補正する必要があるという内容や，短い周回コースを時計回りと反時計回りに測定し，その際，どちらの方向に測定しても次第に温度が上昇するという観測結果を元に，温度計の時定数によりその場の気温を測定しきれていない可能性などに言及する内容など，自分たちが測定してい

る数値に対して疑問を抱く態度は，大学院生のレポートのみに見られる内容であった。

このような観測自体における“科学的な探求の姿勢”については，学部生と大学院生のレポートで最も差が出た内容である。学部生のレポートのほとんどは，気温が高い場所，低い場所があったという結果と変化の傾向についての整理に留まっていた。これに対し，大学院生の提出したレポートは，学部生同様，観測結果を整理して結果と変化の傾向を示した上で，さらに，なぜそういう現象が発生するのか仮説を立て，それを検証するためにはどういう方法で観測を行うべきかをきちんと立案するとともに，可能であればさらに測定を行うことで検証作業を実行していた，という点で学部生のレポートと大きな差が見られた。

## 5．まとめ

移動観測による局地的な気温の分布の調査を，授業における実習課題として実践した目的は，気象現象のように正解は無いけれど，ある程度，規則性がある自然現象に対して，探究的な活動を行うことができる資質・能力の育成を目指したものである。ここで明らかになったことは，気温の観測における諸条件と，調査・分析に対する学部生と大学院生の能力・考え方の違いである。

移動観測における諸条件として明らかになったことは，空気は太陽放射により直接温まることはなく，地面が温められ，その熱が伝わることにより気温が上昇するが，気体ゆえの熱伝導率の低さに起因して，地面の熱で暖められて軽くなった空気がじりじりと対流によって上昇し，1.5 m の高さの空気に熱が伝わるまでに時間がかかるため，移動観測によって捉えた気温の分布は，約 1 時間前の地表面の温度を反映している可能性があるということである。さらに，日射の少ない曇りの日や，地面からの熱の対流が阻害される一定の風速以上の強い風が吹く日は，場所による気温の変化が起こりにくいであろうことが示された。

授業における実習として移動観測を実施した学部生と大学院生の，授業への向き合い方，能力，考え方の違いについては，学部 3 年生の多くは移動観測のやり方を説明したワークシートの手順に沿って観測を実施し，観測結果の整理・分析を通して，気温の変化が生じた原因について，周囲の環境との相関について言及するに留まった。

これに対して大学院生では，自分たちの観測結果に対して，整理・分析を行うとともに，観測結果を元に，さらに問題点や課題を見い出し，それらが生じる仮説を設定したり，結果を予想するプロセスが加わっていた。また，自らの仮説を検証するための方法の立案等が詳細に書かれていた。観測に基づく課題の設定，観測の計画と実施，データ処理と分析，考察のサイクルが繰り返されているという点で，学部生とは大きな違いが見られるということが明らかとなった。

学年にして 2 年の差による学部生と大学院生の探究的活動においての調査・観測に対するこのような態度の違いは，約一年間の卒業研究を通して調査を行い，その結果について仮説を立てて検証を行うという活動を経験しているか，いないかが大きく影響しているものと考えられる。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17H01980 の助成を受けたものである。また MANDARA の利用および移動観測にあたっては，宇都宮大学共同教育学部の瀧本家康先生にご指導頂いた。お世話になった皆様方に心より御礼を申し上げる。

## 引用文献

1) 環境省（2018）：まちなかの暑さ対策ガイドライン 改訂版 平成 30 年 3 月. 参考資料 簡易体感温度指標による効果把握.
2) 環境省（2012）：ヒートアイランド対策ガイドライン平成 24 年度版.
3) 高橋一栄・森 征洋（2011）：ガラス製アルコール温度計の応答特性と気温の測定−小学校理科実験における場合−. 天気，58，2，167-172.
4) 文部科学省（2019）：高等学校学習指導要領理科編理数編解説.
5) 文部科学省（2018）：小学校学習指導要領解説理科編.
6) 三次徳二・小山聡子・石黒彩子（2010）：小学校理科における地面温度測定の指導方法についての研究 −特に「太陽と地面の様子」の指導について−. 大分大学教育福祉科学部研究紀要，32，221-230.
7) 近藤純正・内藤玄一（1969）：地表面近くの地温・気温の日変化特性. 国立防災科学技術センター研究報告，2，89-105.
8) 近藤純正（2000）：地表面に近い大気の科学 ―理解と応用. 東京大学出版会，東京，336p.
9) 気象庁（1998）：気象観測の手引き. 81p.