

## 『アドバンスング物理』公開講座の実践報告

Report on the Trial Open Course of 'Advancing Physics'

藤田 利光

Toshimitsu Fujita  
(和歌山大学教育学部物理学教室)

宮永 健史

Takeshi Miyanaga  
(和歌山大学教育学部物理学教室)

山本 宏之

Hiroyuki Yamamoto  
(県立和歌山工業高等学校)

坂本 文博

Fumihiro Sakamoto  
(元和歌山県立高等学校教諭)

村田 隆紀

Takanori Murata  
(京都教育大学教育学部)

谷口 和成

Kazunari Taniguchi  
(京都教育大学教育学部)

イギリスで開発された新しい高等学校用の物理コースである『アドバンスング物理』は、その斬新な試みで世界的に注目されている。この報告は、『アドバンスング物理』が提起している物理教育の我が国における適用の可能性を検証するため、高校生を対象に和歌山で行った公開講座に関するものである。公開講座における参加者への調査や実施状況の評価から、ここで提案されている新しい物理教育の内容や方法が、社会状況や教育文化の条件が大きく異なる我が国で、あるいは和歌山で、どれ程有効なものなのか、どう工夫すれば活用することができるのかといったことを考察する。

キーワード：物理教育、理科教育、自然科学教育、イギリスの教育制度、カリキュラム

## 1. はじめに

我が国では、青少年の理科離れが指摘されるようになってから久しい。また、科目選択制の進行や履修時間の減少もあり、昨今高等学校における物理履修者の減少が目立つ。物理学は、現代自然科学の根幹をなし、人々が合理的な自然認識や考え方を獲得する上でも、今日社会に豊かな物質文明をもたらしている生産、通信、情報等の科学技術の基礎・基盤の主要な要素としても、欠かすことができない重要な知識分野である。しかし一方、今日我が国の高等学校で教えられる物理の内容は、力学と電磁気学を中心に、主として問題解決習得の度合いで達成度を評価する旧来の教材や教授法が主で、今日現実にある物理の姿との乖離はいよいよ大きくなっていくように思われる。物理学の学習においては、基本的な概念の獲得や深い法則的な理解、獲得した知識を具体的な問題に適用することへの習熟及び積み上げによる段階的な学習は不可欠であるが、そのことが逆に、今日広く普及した高等学校の教育においては、生徒たちへの物理の学習に対する動機付けや勉学意欲にとって障害の一つとなっていることも事実である。

イギリスでは、日本と異なる事情により高等学校の

教育制度が改められ、それに伴い、高校物理のコースも一新された。その中の一つである『アドバンスング物理』は、生徒たちに物理学が今日ある姿を大胆に示しながら、物理概念や物理法則に関する高いレベルの理解と多岐にわたる知識・能力を得させようとする意欲的な試みによって、国内外で注目を集めている。

この報告は、『アドバンスング物理』を研究するために結成された「アドバンスング物理研究会（京都・和歌山）」が、2003年8月22日～24日に和歌山で行った高校生を対象とする公開講座の報告である。

この節では、以下でイギリスの教育制度の概要および『アドバンスング物理 (Advancing Physics)』を紹介し、2. で本研究会の今までの活動について述べる。続いて3. で公開講座で取り上げた『センシング』の部分について、その内容的な特徴を述べ、今回の公開講座をどのように企画したかを述べる。4. では公開講座の実施状況を紹介します、最後に5. で今回の公開講座の総括的なまとめを行う。

## 1.1. イギリスの教育制度

イギリスの教育制度は地域によって違いがあるので、ここではイングランド・ウェールズを例にとって説明する。イギリスの学齢期は5歳に始まり、5-

10歳が初等教育、11～18歳が中等教育、それ以後が高等教育となる。高等教育は、通常3年間の大学と、それに大学院が続く。

初等教育、中等教育を通算すると、第1学年から第13学年までとなる。そのうち義務教育は第1～11学年まで、年齢的には5～16歳までである。義務教育終了時には、普通、生徒達は全国統一試験であるGCSE (General Certificate of Secondary Education)を受験する。この受験は必ずしも義務というわけではないが、成績はその後の進学や就職の際に選考基準として重視され、大学進学の際には入学許可判定の材料の一つとなる。そのため、義務教育最後の2年である第10、11学年は、GCSE試験に向けたカリキュラムに沿って教育を受けることになる。GCSE試験では、生徒達は通常5科目程度を選択するが、最大10科目まで選択できる。成績は、GCSE教育の平常点と統一試験の成績を総合してAからGまでで評価し、それに満たない者は義務教育の修了者とは見なされない。

大学進学を目指す者は、引き続き中等学校で、あるいはシックスフォーム・カレッジ (Sixth Form Collage) に進学して、2年間のGCE-Aレベル (General Certificate of Education - Advanced Level) の教育へと進む。Aレベルの教育は、第12学年のAS (Advanced Subsidiary) と第13学年のA2があり、それぞれ終了時には全国統一試験がある。必ずしも両方を受験する必要はないが、通常はGCE-ASの成績によってA2のカリキュラムに進むことができるかどうかが決まり、GCE-A2の認定成績は希望する大学への進学に大きく影響する。また、AS試験の2科目はA2試験の1科目に相当するとされる。成績はAからEまでの5段階で認定され、それに達しない者 (U) は認定が得られない。

GCE試験は全国レベルの非営利法人である複数の試験機関 (Examination Board) が行う外部試験であって、この試験機関は、教育職業技能省 (Department for Education and Skills) の下にある資格・カリキュラム開発機関QCA (Qualifications and Curriculum Authority) のガイドラインに沿って、シラバスの開発、試験問題の作成・試験の実施及び採点・評価を統轄している。成績評価は試験だけでなく、カリキュラム履修中に行われる学習課題 (コースワーク Coursework、探求課題についての調査や実験、分析等を行ってレポートを提出する。) の成績評価も加味して行われる。

大学入学への最低限の資格要件は、通常、英語、数学、それに多くの場合は現代外国語とその他2科目についてGCSEでC以上の成績をとっていることで、その上で、さらに2ないし3科目のAレベル科目についてGCE認定を取らなくてはならない。

イギリスの大学の学部教育は3年間で、入学するとすぐに専門教育に入るから、Aレベル教育は、履修す

る生徒の年齢は日本の高校の2、3学年と同じだが、内容的には日本の高等学校と大学の教養教育をあわせたレベルで、専門基礎教育的な部分を担っていると考えてよい。科目選択は、ASで4ないし5科目、A2で3科目程度を選択して履修するのが普通のものである。生徒達は、Aレベル科目の履修以外の時間は、一般科目や体育、宗教、学校における個人学習などに充てる。

今日の試験制度に至る経緯を少し述べておこう。Aレベルの制度が始まったのは1951年で<sup>1)</sup>、それまでの制度では、学校卒業認定、大学入学のための試験、資格取得のための試験など様々な試験制度があつて、卒業生は目的に応じてバラバラな試験を受けなくてはならなかったのだが、これを整理して、通常レベル (Oレベル : Ordinary Level) と上級レベル (Aレベル : Advanced Level) の2つの試験を行い、科目毎に独立した成績認定を行うようにしたものである。

1985年に新しいGCSE基準が現れ、1988年には新教育法によってナショナルカリキュラムが施行され、それに伴い1988年からOレベルはGCSE試験に移行した。

発足当初Aレベルは2年一貫の連続コースであった。大学入学資格では、通常2～3科目のAレベル成績認定が条件付けられており、Aレベル教育は大学準備教育の性格が強いことから、生徒達は通常3種類のAレベル科目を選択履修していた。このような、あまりにも早期の専門化に対しては様々な批判があつたが、この制度は永らくそのまま維持されてきた。

1998年になってようやくこの制度が改められることになった。すなわち、Aレベル1年目のASと、その履修を前提として行われる2年目のA2の二つに分割され、科目は同一であっても内容はそれぞれを1年で履修させるカリキュラムとして設定されるようになったのである。また、ASの履修科目数を増やすことにより、幅広い履修が可能となった。新しい制度に基づくAレベル教育は2000年から実施されている。

## 1.2. 『アドバンスング物理』について

『アドバンスング物理』は2000年に改革されたAレベル教育に沿った高校物理の履修コースの一つで、イギリス物理学会 (the Institute of Physics) の制作によるものである<sup>2)</sup>。

AS及びA2物理のシラバスとしてQCAの認定を受けるためには、必ず次のような共通の (コアと呼ばれる) 内容を含み、さらに、実験や探求活動の実施及びデータ処理・収集におけるIT利用等を含むものとされている<sup>3)</sup>。

### ◎AS物理

約60%の内容に次の項目に関する知識、理解及びスキルを含む。

○力学：ベクトル、運動学、動力学

- 電気：電流、起電力、電位差、抵抗、直列回路
- 量子物理 (#)：光子モデルと物理現象、量子モデルの粒子への拡張
- 波動 (\*)：偏り、回折、経路差、位相、可干渉性、定在波

#### ◎A2物理

約60%の内容に次の項目に関する知識、理解及びスキルを含む。

- AS物理のコア
- 運動量とエネルギー (\*)：運動量の概念、エネルギーの概念、分子運動論
- 電気：容量
- 原子・核物理学 (#)：構造探索、荷電粒子の放射、エネルギーと質量欠損
- 振動：単振動の定量的な扱い、強制振動、減衰振動、共鳴の定性的扱い
- 場：力場の場、電荷間の力、質点間の重力、電場と重力場
- 電流の磁気作用：磁場、磁束、電磁誘導

ここでASとA2の(\*)、(#)同士は入れ替えてもよい。

以上のような条件を満たせば、それらの発展させた内容を含めることも、他の異なる分野の題材を付け加えることもでき、組み立てにはかなりの自由度が認められている。

現在イギリスでは3つの試験機関が各々2つずつ、合わせて6つの異なる物理のシラバスを設定している。従来からあったAレベルのシラバスをもとに、新しい枠組みに対応して手直ししたものが多いが、中には、実社会での応用に題材をとり、物理に対する生徒の興味・関心を引き出そうと工夫したものもある。

こうした中で『アドバンシング物理』は、物理学が実際に研究され現に社会で使われている今日的な姿を強く意識して、それを盛り込むよう企画された、全く新しいタイプのプログラムである。この開発プロジェクトの責任者は、1960年代に始まる有名な『ナフィールドAレベル物理』の開発を率いたジョン・オグボーンで、『ナフィールドAレベル物理』はこれと交代に幕を閉じることになった。この新しいコースは、ナフィールド物理を生んだ60年代の「教育の現代化」を上回る全面的なカリキュラムの刷新である。このことに加えて、イギリス物理学会自身が高校教員を組織して、高校物理教育に積極的に関わったということもあり、大きな関心を集めている<sup>2)</sup>。

現在イギリスで、このコースによりAレベル物理を履修している生徒数は、全体の4分の1に上ると言われている。

さて『アドバンシング物理AS』の教材であるが、これは生徒用の教科書と、生徒用CD-ROM及び教師用CD-ROMから成っている<sup>2)</sup>。B5版より大判で約230ページ全面カラー多色刷の教科書は、罫

気が日本の教科書とは全く異なっている。本文は、主題に関する説明ばかりでなく、自然現象、応用技術的あるいは社会的な話題、歴史的なエピソード、用語の由来など、様々な内容を含んでいて、写真や図版が多用されており、読み物としても興味深く構成されている。物理的な知識や基本法則、数式等は枠組みで本文と区別して簡明に記述してあり、節毎に易しい問いや知識を確認するための要約が、章末には学んだ事項のチェック項目と問題がある。いずれにせよ、この教科書は、授業で使うと言うより、生徒が自分で学習するための教材という趣が強い。

授業は、デモンストレーション教材、演示実験、生徒実験、コンピュータ教材等を用いて進めるようになっており、これらは全て生徒用CD-ROMと教師用CD-ROMに納められている。コンピュータ教材も多用され、内容は非常に充実している。

生徒用CD-ROMには、実験の説明や問題の他、副読本的な読み物、用語集、数学的補足、理解のチェック項目、役に立つソフトウェア等が入っており、疑問があればいつでも参照でき、興味・関心と能力に応じていくらかでも掘り下げて学ぶことができる。また、教科書には随所に「CD-ROM参照」のマークが付されている。

教師用CD-ROMには、上に述べた教材の他、各章のねらいや指導上の留意点などが納められており、実験装置のリストや準備の方法、Aレベル試験のシラバス資料など指導上必要と思われる様々な資料が含まれている。教師は、生徒達の理解の程度に応じて教材を取捨選択しながら自分の授業が組み立てられる。

その他、教師も生徒も自由にアクセスできるWebサイトが用意されていて、最新情報の入手やFAQコーナー等の便宜が利用できる。

## 2. アドバンシング物理研究会 (京都・和歌山)

『アドバンシング物理』は、開発途中であった1998年4月に東京で開催された日英物理化学教育国際会議で日本に紹介されて以来、日本でも様々な機会に取り上げられ、理科カリキュラムの論議で引き合いに出されてきた。2001年8月には、開発責任者ジョン・オグボーン及び教材開発メンバーの一人である高校教師フィリップ・ブリトンによる講演とワークショップ・公開授業が東京、埼玉、大阪、神奈川、京都で開かれ、日本でのこのコースに対する理解は大きく前進することになった<sup>2)</sup>。

「アドバンシング物理研究会 (京都・和歌山)」は、『アドバンシング物理』を研究するために、2002年1月に京都と和歌山の高等学校教員及び京都教育大学と和歌山大学教育学部の教員を中心として結成された自主的な研究会である。会の発足にあわせて科学研究費特定領域研究「新世紀型理数系教育の展開研究」に応募し、2002年4月に採択された。研究代表者は京都

教育大学村田、研究協力者は京都教育大学谷口および和歌山大学宮永である<sup>3)</sup>。

研究会は、京都と和歌山で互いに交流を行いながら、あるいは独自に会合を開き、『アドバンシング物理』の生徒用教科書および教師用指導書に含まれている教材や指導法を解説し、実験教材を実際に実施しながら検討することを重ねてきた。

京都における活動は2002年1月から始まり、毎月2回程度の例会で『アドバンシング物理』CD-ROMの内容の検討、教材の演示実験や生徒実験の追試などを行っている。また、CD-ROMの試読、実験器具の作成、実験用機材の購入と貸し出しなどにより、その普及にも力を入れている<sup>4)</sup>。こうした活動の一環として、2002年夏には、京都の高校生、大学生を対象として3日間の公開講座を実施した<sup>5)</sup>。その間の活動については文献<sup>3)</sup>及び<sup>5)</sup>で紹介されているので、ここでは和歌山における約1年間の活動を振り返っておこう。

和歌山においては2002年10月から独自の研究活動が始まった。10月26日に京都と和歌山の会員による合同の研究会を催し、その後はほぼ月一回の例会を行い、教師用CD-ROMに含まれている実験の追試と内容の検討を行った。記録から拾ってみると、各回の内容は次のようになっている。

#### 第1回研究会 (10月26日 京都グループと合同)

- ・アドバンシング物理の解説 (京都グループより)
- ・京都の研究会の紹介
- ・演示実験 (スプーンで電荷を運ぶ、電気振り子等)
- ・CD-ROM資料紹介
- ・新しい実験機材の使用法、生徒実験の体験

#### 第2回研究会 (11月30日)

- ・アドバンシング物理教科書とCD-ROM教材の関係
- ・CD-ROMの使い方の解説

#### 第3回研究会 (1月11日 京都グループと合同)

実験の追試 (班に分かれて実施)

- ・フォトダイオードによる光の測定
- ・フォトトランジスタによる光の測定
- ・光の強さの変化を調べる。シンクロスコープで赤外線式リモコンの信号波形を調べる。

#### 第4回研究会 (2月11日)

- ・光の強さとLDRの抵抗値の関係の測定
- ・明るい知らせるセンサーの作成
- ・暗いと知らせるセンサーの作成

#### 第5回研究会 (3月23日)

- ・熱いと知らせるセンサーシステムの作成
- ・サーミスタを用いて温度計の作成

#### 第6回研究会 (4月26日)

- ・前回までの検証実験を振り返って、日本の教科書、教材との相違点等を論議
- ・今後の活動として、和歌山で高校生を対象に公開

授業を実施することを検討

#### 第7回研究会 (5月24日)

- ・日程を8月22～24日を予定して公開講座の開催計画 (素案) を検討
- ・公開講座の準備の分担

#### 第8回研究会 (6月15日)

- ・公開講座の案内文書、依頼文書、アンケート等の作成の分担
- ・公開講座の開催計画 (案) の調整

#### 第9回研究会 (7月6日)

- ・公開講座の開催計画 (案)、配布文書等の最終確認
- ・アンケート、機材等の確認

#### 第10回研究会 (7月20日) 公開講座準備

#### 第11回研究会 (8月3日) 公開講座準備

#### 第12回研究会 (8月16日) 公開講座準備

#### 第13回研究会 (8月21日) 会場準備

[8月22日～24日 公開講座実施]

#### 第14回研究会 (9月5日) 公開講座反省会

#### 第15回研究会 (10月4日)

- ・公開講座の総括について

#### 第16回研究会 (11月23日)

- ・アンケートの結果のまとめ
- ・次回からの取り組みについて

#### 第17回研究会 (12月14日)

- ・今後の活動、用具の貸し出し等の運用
- ・京都-和歌山交流会について

その後も大体上のようなペースで活動を続けている。また、研究会で購入し保管している実験機材は、申し出があればいつでも貸し出して高等学校の授業等で試用できるようにしている。

### 3. センシング

和歌山で行った公開講座では、アドバンシング物理ASコースの中の「2 センシング」を取り上げた。これを取り上げた大きな理由は、2002年夏に京都のグループが行った公開講座での実績があり<sup>5)</sup>、経験も知識も浅い和歌山のグループとしては、アドバンシング物理の理解を深める意味でこれを追体験することが効果的だと考えたからだ。我が国の従来の物理教材と比べた場合、この部分がアドバンシング物理の特徴を典型的に示しているということも大きく作用している。ここではその特徴を整理して、和歌山で行った公開講座の実践計画を紹介しよう。

#### 3.1. 「センシング」について

アドバンシング物理ASコースの「2 センシング」の表題は、このコースの他の章の表題も同様であるが、日本の高校物理教科書の単元の表題と比べると

随分異なった印象を受ける。内容を紹介するため、この部分の章末にある要約を以下に引用する（著者訳。ページを節約するため箇条書きをベタ書きにして式を省略した。）。

**電気**：○電流が単位時間当たりに運ばれる電荷であること、○電位差が単位電荷当たりのポテンシャルエネルギーの差であること、○コンダクタンスは電流の電位差に対する比、抵抗（レジスタンス）は電位差の電流に対する比で表され、それぞれは必ずしも一定でないこと、○オームの法則が成り立つような導体では、コンダクタンスや抵抗は電位差によらず一定であること、○直列の場合は抵抗が加算的であり、○並列の場合はコンダクタンスが加算的であること、○直流電源の両端の電位差は、起電力と、内部抵抗による内部電位差（電流と内部抵抗の積）の差になること、○電流と電位差の積が回路の消費電力になること。

**センサー**：○センサーはしばしばシリコン中にマイクロサイズで作られること、○自己発電型センサーには熱電対、光電池、圧電素子があること、○変換型センサーには電位分割、光伝導セル、サーミスタその他の温度変化をする抵抗、ガス感受性物質及びひずみ計等があること、○センサーとしての性能は、よい分解能、適切な感度、速い反応時間、（平均化によって減少する）非系統的で無秩序な誤差が小さいこと、系統的誤差あるいはゼロ点誤差が小さいこと等が重要であること、○センサーシステムの設計では、線形性の欠如に対する表参照などの対策、測定に付随する変化、特に温度変化が結果に及ぼす影響の回避策など求められること。

**回路**：○電位分割は、センサーの抵抗変化を分割電位差として出力できること、○センサーからの信号を扱うのに演算増幅器が用いられること、○電位分割に基づいた回路が様々な用途に用いられていること。

1. 2. で述べた A S 物理のコアと比較すれば、これが「電気」の内容であり、日本の教科書であれば、例えば「電流と電気回路」というような単元に相当していることが分かる。しかし、ここは単に電気や電気回路だけを学習する単元ではなく、今日の社会で様々な用途に用いられているセンサーの機能の紹介やその利用技術に関する記述も多く含まれている。

A レベル教育に先立つ G C S E 教育の最終到達レベルはナショナルカリキュラム Key Stage 4 に規定されている。Key Stage 4 の科学は、週 5 時間のダブルコースと履修時間が半分のシングルコースがあるが、後者は、移民などで学習困難な者を対象としている。前者では、物理分野の電気は次のようになっている<sup>6)</sup>。（なお、ナショナルカリキュラムでは、科学は英語や数学と並んで主要教科に位置づけられている。）（著者訳。）

**回路**：a) 抵抗に電荷が流れる時の発熱作用、b) 抵抗値の変化が電流に及ぼす定性的な影響、c) 抵抗、電圧、電流の定量的な関係、d) 抵抗器、白色電球、ダイオード、光依存抵抗、サーミスタ等一連の装置に流れる電流の電圧変化、e) 電圧は単位電荷が運ぶエネルギーであること、f) 電力、電圧、電流の定量的な関係。

**電気の供給**：g) 直流（DC）と交流（AC）の違い、h) 家庭の電気配線で電圧側線、中性線及びアース線（引用者注：イギリスでは、家庭用給電線は 3 線式である。）の役割、電気機器の利用者を保護するための絶縁、アース、ヒューズ、ブレーカー等の使用、i) 電気による加熱が家庭でいかに多用されているか、j) 家庭用電気器具の使用料はエネルギーの供給量で計測していること。

**電荷**：k) 摩擦電気による絶縁体の帯電、l) 正、負の電荷に働く引力、同種の電荷に働く斥力、m) 電子の動きによる静電気現象の理解、n) 日常的な状況で発生している静電荷の利用（静電式複写、インクジェット等）及び危険性、o) 定常電流と電荷及び時間の定量的な関係、p) 金属中の自由電子や電気分解中のイオンによる電荷の流れとしての電流。

アドバンシング物理のこの章は、以上のような G C S E の枠組みを前提として構成されていることに留意する必要がある。内容の詳細は 7) で紹介されているので、ここでは概括的に特徴を列挙するに留める。

(1) 電気や電気回路を、法則や公式を導くための典型的な教材だけを用いて扱うのではなく、先端的な科学技術の分野や医療、介護の分野で広範囲に利用され、あるいは今日人々に豊かな生活をもたらしている様々な機器の中に組み込まれ、それらの動作を制御しているセンサーに着目して、その働きを理解することを通して、生きた知識として電気や電気回路を扱おうとしている。

(2) 様々なセンサーの働きを紹介して、それらの機能やそれらを利用した色々な制御の仕方についての理解を深め、先端技術の中で息づいている生き生きした物理に触れさせることにより、物理やそれと関連する科学技術に対する関心を高めさせ、さらに、物理が科学技術において果たす役割や社会に及ぼす様々な影響を感じ取れるよう配慮されていることは、生徒達の勉学意欲向上にもつながることが期待できる。テキストで紹介されている様々な事例は、直接的には、センサーを利用した回路の制作におけるアイデアを豊かにすることに役立っており、間接的には、生徒達の視野を、物理をはじめとする科学技術の社会的な役割や責任にまで広げる効果がある。

(3) センサーに関する測定を行い、実験によって温度、光、熱などを感知する働きを確かめ、得られた知識を

活用して回路システムの設計や制作を行わせる等、習得した知識を現実に適用する力をつけさせ、実験を計画し、実施し、データを解析する力を養い、さらに、得られた結果を互いに発表することによって、科学的な事実を客観的に、正確に、適切に表現し、自分たちと異なる意見を評価したり互いに議論する能力にも配慮するなど、総合的な学力を養う中で物理を学ばせようとしている。

(4) 日本では、オームの法則を電圧と電流の比例関係として説明し、抵抗をその比例係数として導入しているため、抵抗は電圧によらない定数のように理解されがちである。このコースでは、抵抗やコンダクタンスを、加える電位差と流れる電流の「比」として導入し、オームの法則はそれらが一定であるような特殊な場合に成り立つ法則だと説明している。測定を通して様々なセンサーの特性を調べさせる場合、そうでないと不都合であるが、実際に様々な物質を扱うことを考えると、このコースの扱いの方が現実的、合理的である。また、法則を絶対視せず、それが成立するための条件まで含めて理解させることは、科学的な理解の仕方としても望ましい。その他、加速器中の電子ビームによる電流などを例としながら、電流をそれが担う電子やイオンの流れとして理解させ、それに基づいて伝導度や抵抗を説明していること、一般に普及している「電圧」に代えて「電位差」という、物理的にはより正確な用語を用いていることなども重要な特徴である。

(5) 日本の高校物理では、普通、抵抗を含む回路は電流、電圧、抵抗の関係として扱っているが、このコースでは、直列回路は抵抗で理解させているが、並列回路はまずコンダクタンスを用いて理解させ、その後全抵抗の逆数が並列抵抗の逆数の和となることを教えている。また抵抗があるということ、電流を阻害する否定的な要因としてばかりではなく、電荷の流れが少ないことの現れであるというようにも理解でき、抵抗が作り出す電位差は、積極的に利用すれば役に立つということを実例と共に紹介している。さらに、日本の高校物理教材ではホイットストーンブリッジを未知の抵抗を求める回路として、回路の計算問題のパターンとして扱っているにすぎないが、このコースでは、センサーからの情報を取り出す実用的な回路として扱っている。こうした扱いの違いが教育的にどのような効果を生むのかは興味あるところである。日本の高校教材は、どちらかと言うと法則や関係式、公式等を正しく理解し利用することを重視しているが、それに対してこのコースは、教材が持つ現実的、実用的、技術的な価値を重視して、得た知識をすぐにでも現実に使えるよう組み立てている。

### 3.2. 公開講座実施計画の概要

今回の公開講座は、センサーを用いた実験を中心

に行い、最終的には与えられた課題を実現するセンサーシステムの製作までを目標とした。3.1. であげた特徴のうち、包括的な意味では(1)が係わるが、内容的には(3)に焦点を当てたものと言ってよい。習得すべき知識としては(4)、(5)も係わって来る。センサーを扱うという点で(2)も無関係ではないが、アドバンシング物理の教材のもう一つの特徴である読み物としての生徒用テキストは配布していないので、それを過大に期待することはできない。

開催場所は和歌山大学教育学部。多人数の物理実験を行うことができる学生実験室が無かったので、一般講義室の机を並べ替えて臨時の実験室として実施した。

計画した3日間の日程は次のようなものである。

第1日目 8月22日(金曜日) 13:00～17:00

午後：公開講座の導入、機材の使用法、発表の仕方など

-開会式

挨拶、オリエンテーション

-探求学習

実験1 アルミカップの落下

-デモンストレーション：電気の運び手は何だろう

-デジタルマルチメーターを使う

実験2 デジタルマルチメーターでいろんなものを測る

実験3 抵抗にかかる電圧を測定しよう

実験4 電位分割器

第2日目 8月23日(土曜日) 10:00～16:00

午前：金属や半導体に電圧をかけたときに流れる電流の大きさを調べる

実験1 コンスタント線の特性を調べる

実験2 抵抗器の特性を調べる

実験3 電球の特性を調べる

実験4 ダイオードの特性を調べる

実験5 発光ダイオードの特性を調べる

実験6 サーミスタの特性を調べる

午後：色々なセンサーの性質を調べる

実験1 熱電対で温度を測定してみる

実験2 光電池で光を測定してみる

実験3 光依存抵抗(LDR)で光を測定してみる

実験4 フォトダイオードで光を測定してみる

実験5 フォトトランジスタで光を測定してみる

第3日目 8月24日(日曜日) 10:00～16:00

午前：センサープロジェクト

実験1 明るいことを知らせるセンサーシステムを作る

実験2 暗いと知らせるセンサーを作る

実験3 熱いと知らせるセンサーを作る

実験4 サーミスタを用いて温度計を作る

午後：各班発表

受講生には、本研究会で作成した実験書を配布した。実験書は42ページあり、公開講座の趣旨、3日間のスケジュール、授業の要領、実施する実験の目的、機器の使い方、実験方法や記録の取り方、データ記入欄、結果を考察するためのヒント等を含んでいる。また、この公開講座で重要なキーワードである電位分割器とホイートストンブリッジについては用語解説を載せた。

#### 4. 公開講座

公開授業の参加者は、和歌山市及び周辺の高等学校に案内を配布して募集した。その結果、和歌山東高校(1)、向陽高校(5)、海南高校(4)、箕島高校(8)(括弧内は人数)から18名の高校生が参加した。学年の内訳は、1年生が5名、2年生が5名、3年生が8名である。

参加者を、学校・学年取り混ぜて4名の班を3班、3名の班を2班、合計5班に分け、最初の2日間は、班単位で実験や発表などの作業を行わせた。以下に、各講習日の実施状況とスタッフからのコメントを紹介する。

**第1日目：**初日の午後に行った実験1の探求学習は、内容的には力学の実験であるが、そのねらいは、受講生にアドバンシング物理の実験の進め方やプレゼンテーションに慣れさせると共に、作業を通じて班のスムーズなコミュニケーションの形成を図ることである。実験は、アルミ箔製のケーキカップを一定高さから落下させ、落下時間を記録してデータを解析し考察するもので、大きさが異なる何種類かのカップを用いるもの、カップを重ねて質量を色々に変えるもの、落下させる高さを変えて行うものというように、班によって条件が変えてある。日常的にはよくある現象なのだが、空気抵抗が大きいと典型的な自由落下とはほど遠いこうした実験を行って、習得した知識を活用しながら考えさせるというのはこのコースの一つの特徴である。実験書には、落ち方がどのように変わるか予想して実験するようにとの指示がある。意見を出し合いながら実験を行い、データを解析し、最後にグループ発表をさせた。班によって発表の仕方がまちまちになってしまったが、初めてのことなので、「データをグラフ化して模造紙で示しなさい」というように、あらかじめプレゼンテーションの標準形は決めておいた方がよかった。異なる学校の生徒同士もすぐにうち解けて班活動が始動した。

演示実験は、電荷をお玉杓子で運んで見せ、あるいは金属板の電極間につるした導体ボールの振り子を振動させて、電流を担う電荷が実体のある存在だということを実感させるもので、電気回路の学習への導入である。

実験2では、使用する機器、特に、デジタルマルチメーターの使用に慣れさせるため、コンセントや用

意した色々な電池の電圧(ここではあえて生徒達がなじんでいる用語「電圧」を用いる。)や人体の電気抵抗、あるいは人体を流れる電流の測定等を行った。その後の実験3では、10個の1kΩの抵抗をブレッドボードに直列に差し込み、定電圧電源につないでデジタルマルチメーターで接合点間の電圧を測定した。その次に、1、2、3、4、5kΩの抵抗を直列に差し込んで、接続点間の電圧がどうなるのかを予想させてから実測させた。以上、直流回路の抵抗と電圧の関係について知った後、実験4の電位分割の実験を行った。これは、まず始めに5Vの定電圧電源に抵抗と可変抵抗を直列につないで、可変抵抗を調節しながら抵抗両端の電圧を3Vになるよう調節して、可変抵抗の抵抗値と回路を流れる電流の大きさを考えさせ、その上で、電流を実測して比較して確かめさせる。次に、可変抵抗を変えたとき定抵抗としてどのような値のものを使えば電圧の変化の仕方が大きくできるか調べるもので、可変抵抗をセンサーに見立てたとき、抵抗値の変化に敏感に反応する電位分割器の設定を見つけ出すための導入である。

以上、第1日目の実験は全員が共通に行った。

#### 第1日目のスタッフからのコメント：

- ・電位の概念さえ定着していない受講生には、初日の電位分割はイメージしにくかったのではないかと。
- ・電位分割の実験はデータを取るだけに終わって意味を考えさせる時間が不足していた。
- ・実験書だけではわかりにくく、多少教師の誘導が必要ではないかと。

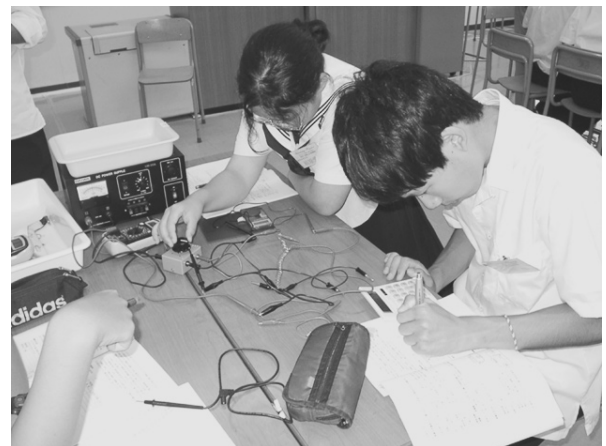


写真1 授業風景

**第2日目：**午前の実験1では、熱電対の材料として用いられるコンスタンタン線の電流電圧特性を調べた。2台のデジタルマルチメーターを用いて、電流と電圧が同時に測定できるように回路を組ませ、電源の電圧を変化させながら、電圧計の読みが0.1V変化する度に電流値を記録する。結果をグラフ化すると共に、抵抗値の変化を計算で求めさせる。全員でこれを行った後、実験2～6では班毎に異なる回路素子、抵抗器、

電球、ダイオード、発光ダイオード及びサーミスタを配布して、その電流電圧測定を行い、最後に班毎に発表を行った。

以上で測定回路や計器の使用にも慣れてきたので、いよいよ午後からセンサーの性質を調べることになる。午後は5種類のセンサーの性質を調べるため、1～5の実験を行う5つのブースを用意して、受講生を班単位で各ブースを周らせ、最終的に全班が全ての実験を行うようにした。各ブース共約30分で回転するよう計画した。ブースには教師を配して助言・指導に当たった。実際にはブースによって必要な時間が異なっていたので、受講生がゆっくり考える時間が少なくなり、思わず教師の方から答えを言ったり指示してしまうケースもあったが、受講生は、日頃経験したことのない実験中心の授業に意欲的に取り組んでいた。最後に全員を集めてスタッフから午後の実験の総括的な説明をして終了した。

#### 第2日目のスタッフからのコメント：

- ・ デジタルマルチメーターや可変抵抗が故障して対応に手間取り、考えさせる時間がなくなった。
- ・ 機器や機材の使用法については、統一的な注意事項を配布して受講生に周知することが必要だった。
- ・ 使用する計測機器についての知識が不足していた対応に手間取った。
- ・ 可変抵抗器の許容電流量など使用限界をふまえた事前準備や指導が必要だった。
- ・ ブレッドボードの使い方や測定の仕方などは多少助言が必要だった。
- ・ 簡単な回路なのに配線に手間取っていた。
- ・ グループ発表では質疑応答をさせたらどうか。
- ・ 光電池：実験書を把握するには時間が短すぎる。
- ・ LDR：実験書だけあれば説明なしでできた。
- ・ フォトダイオード：考える時間が不足気味だった。
- ・ フォトトランジスタ：フォトダイオードの前か後かで受講生の反応が異なった。
- ・ 受講生はセンサーに触れるのが初めてなので、実験結果の考察はきちんとする必要がある。
- ・ 感覚的には理解が進んでいるようではあるが、受講生が参考にできる簡単なテキストがあるとよい。
- ・ どの程度教師が説明すればよいかの判断が難しい。
- ・ スタッフの人数が不足気味ではないか。
- ・ 受講生は興味を持って取り組んでいた。

第3日目：3日目のセンサープロジェクトは、これまでの実験や学習で得た知識を生かして、センサーを利用する回路システムを製作するもので、受講生には前日の終了時に4つの実験のうち希望するプロジェクトについての調査を行い、当日はそれに基づいて班を組み替えた。実験1は希望者が集まらなかったため取り

消し、実験2の暗いことを知らせるセンサーシステムは、電位分割器を用いるものとホイットストーンブリッジ型回路を用いるものの2つに分け、実験3の熱いと知らせるセンサーシステムはホイットストーン型回路を用いるものを1つ、実験4のサーミスタを用いて温度計を作るプロジェクトは同じものを2つ作り、合計5つのプロジェクトで実施した。

10時から始めて、最初の50分間はセンサーの特性を調べることに費やし、その後40分でセンサーシステムを作成して動作確認を行い、最後に各プロジェクトから成果を発表するという手順を指示して開始した。各プロジェクトには助言者として1名以上の教師を配置した。実験書には、各プロジェクトとも見開き2ページでどのようにセンサーの特性を調べ、どんな手順で進めればよいか、何を考えどんな工夫が必要かなどのヒントが書いてある。

受講生は熱心に取り組んでいた。最初のうちは助言を控えていたのだが、時間が限られていたため、要所所では助言を必要とする場面も見られた。しかし中には、自分たちで電源電圧を色々変えて工夫するグループもあった。最終的にはどのグループとも目的を達してプロジェクトを終了することができた。

#### 第3日目のスタッフからのコメント：

(暗いと知らせるセンサー、電位分割器型)

- ・ 受講生の積極性が見られた。時間も余裕があった。
- ・ 少しだけ助言したが、創意工夫が見られた。

(暗いと知らせるセンサー、ホイットストーンブリッジ型)

- ・ ついつい受講生に助言してしまう。自由にやらせた方がよかった。
- ・ 3日目で物理的な理解は深まった。

(熱いと知らせるセンサー)

- ・ サーミスタの温度特性の測定に時間がかかり、回路に関して時間的な余裕がなかった。

(全体)

- ・ 受講生に創意工夫ができる時間的な余裕がもっとほしかった。
- ・ 物理実験室のような環境で実施したかった。

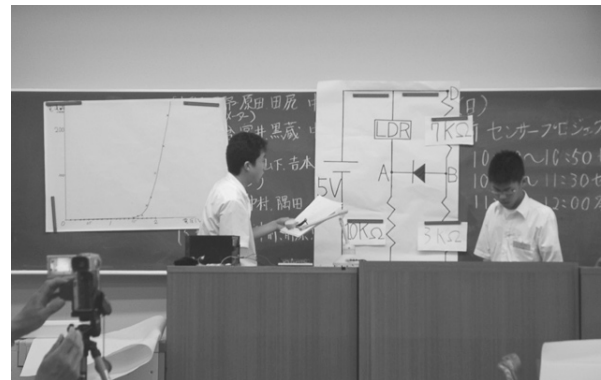


写真2 プロジェクトの結果の発表風景



## 5. まとめ

半日ごとに受講生に対して行ったアンケートの集計結果を付録として添付した。選択番号を数値として平均しただけなので、質問によっては数値の意味があいまいだが、ある程度の傾向はつかめる。それによると、評価は日を追ってよくなっているように思われる。

アンケートの項目、『この実験に関する「テーマ」について』で、「内容」について1興味深く独創的な実験である、2普通、3単純であり興味がもてないではないか、という選択肢による回答の平均は、1日目1.5、2日目午前1.6、午後1.5、3日目1.3（以下、アンケートのデータはこの順序で示す。）となっていて、平均は徐々に「興味深い」の方に近づいている。学年別では、1年生は1.6、1.6、1.8、1.0、2年生は1.4、1.6、1.2、1.2という結果で、この傾向は1、2年生に特に強い。同じ項目の「方法」について1生徒が自主的に行える内容である、2適当、3教師（指導者）の誘導が必要である、という選択肢による平均は1.9、1.6、1.8、1.3で、2日目午後の実験が多少時間不足でどちらかという教師の助言が必要だったことの影響が見られるが、3日目のプロジェクトはかなり自主的に取り組めたと自己評価しているように思われる。1年生については2.2、1.2、2.0、1.0とこの変化が大きく、3日目の実験も自主的に行える内容だと評価が高い。「柔軟性」について1どんな困難にも生徒自身で対処できる内容である、2困難を助言で克服、3計画が単純で助言の必要がない、という選択肢による平均は1.9、1.6、1.9、1.8で、教師の助言がある程度頼りにされていたと解釈できる。

『この実験に関する物理の知識について』という項目で、「知識」について1関連する物理の適切な知識や理解力の使用が明確である、2物理の知識や理解も使用されているが経験重視もある、3ほとんど経験重視である、という選択肢による平均は1.7、1.5、1.5、1.6で余り変化はないが、1年生は2.2、1.8、2.0、1.8で、高校での物理の学習経験の少なさを反映している。同じ項目で「思考」について、1深い思考力が必要である、2簡単な結果が推測され、それに従って進行している、3特に思考は必要としない、という選択肢による平均は1.9、1.7、1.5、1.5、「対象」について、1私には難しい、2私には適当、3私には易しい、という選択肢による平均は1.7、1.8、1.7、1.9であり、これらから、ある程度深い思考が求められており、やや難しいが自分達にとっては適当であると判断していて、慣れてくるに従って考えの筋道も一層理解しやすくなってきたと感じているようである。

班活動について、『測定の仕組みが理解できていますか』という質問項目では、1できる、2ある程度出来る、3ほとんど出来ない、4全く出来ない、という

4つの選択肢による平均は2.0、1.8、1.7、1.4で、徐々に要領が分かってくる様子を示している。『測定している現象について、物理的な理解が出来ましたか』という質問項目では、1出来た、2少し出来た、3あまり出来なかった、4全く出来なかった、という選択肢による平均は1.9、1.6、1.9、1.5で、ここにも、2日目午後の実験が時間不足で余裕が少なかったことが反映している。1年生の場合2.4、1.6、2.5、1.5で、2年生の1.5、1.5、1.4、1.4や3年生の1.7、1.8、1.7、1.5と比べると違いが目立つ。逆に考えると、物理の履修経験が浅い1年生も、3日目には「できた」～「少しできた」の範囲にまで進歩したわけで、物理的な理解が進んだということができよう。最後に、『発表の際、実験結果とその説明などをわかりやすく伝えることができましたか』という質問項目では、1できた、2およそできた、3あまりできていない、4全くできていない、という選択肢による平均は2.4、2.3、2.3、2.0で、「およそできた」～「あまりできていない」に中心がある。日を追って改善されてはいるが、発表の仕方についてはまだ不十分という自己評価なのである。

生徒の反応は一つの要素にすぎず、それだけで善し悪しを判断するのは軽率である。本質的な判断基準は、何を目的・目標として行い、それがどの程度達成されたのかである。この公開講座の場合、生徒が電気や電気回路についてどの程度正しい知識を会得し、電気回路の計算ができるようになり、センサーの機能や利用の仕組みを理解して、センサーシステムを設計したり組み立てたりできるようになったのか等を総合的に評価しなくてはならない。しかしそれは短期間に出来る仕事ではない。また、評価の問題は、それだけでも十分大きな今後の研究課題である。

一般には上のような問題があることを承知の上で、あえて今回の公開講座を評価するならば、アンケートの回答に現れたように、あるいは受講生が色々な実験に取り組む様子からうかがえるように、アドバンシング物理学の指導法は、高校生にとって受け入れ可能であり、積極的な意欲を引き出し得るということ分かったという意味で、とりあえずは成功と評価してよかろう。

今回の公開講座は和歌山の研究グループにとって初めての経験で、あちらこちらに準備不足あったことは、前節で紹介したスタッフのコメントからも明らかである。しかしそれにもかかわらず、全体的に見れば有意義であり、成功と評価してよいように思われる。今後さらに研究を進め、異なる単元についても公開講座を実施し、新しい物理教育の可能性を探りながら、今後一層の発展に役立てたい。

## 謝 辞

和歌山の研究会にとっては常に先進的な手本であり、様々な面でご支援いただいた京都の研究会メンバーに感謝致します。また、和歌山の研究会の著者以外のメンバーの氏名を以下に記して、今回の公開講座の労をねぎらいたいと思います。

飯島輝久（海南高校）、井上昭二（粉河高校）、大林一夫（元和歌山県高校教諭）、北谷泰造（海南市高校）、小谷和巳（伊都高校）、近藤信龍（向陽高校）、坂本修一（和歌山工業高校）、垂井美樹（元和歌山県高校講師）、中博史（海南高校）、中家昌美（星陵高校）、東山邦夫（和歌山東高校）、前川倫男（智弁学園和歌山高校）、宮井康之（開智高校）

## 参 考 文 献

- 1) アレン・ジェニソン（笠 潤平 訳）：物理教育 第45巻（1997）332.
- 2) 笠 潤平：物理教育 第50巻（2002）32.
- 3) 谷口 和成、笠 潤平、山崎 敏昭、岩間 徹、小川 雅史、宮永 健史、村田 隆紀：物理教育 第51巻（2003）198.
- 4) QCAのホームページで公開 (<http://www.qca.org.uk/>)
- 5) 山崎 敏昭、岩間 徹、笠 潤平、小川 雅史、谷口 和成、宮永 健史、村田 隆紀：物理教育 第51巻（2003）202.
- 6) ナショナルカリキュラム・オンライン参照 ([http://www.nc.uk.net/temporary\\_KS4\\_SC.html/](http://www.nc.uk.net/temporary_KS4_SC.html/))
- 7) 笠 耐：物理教育 第48巻（2000）541.

## 【付録】受講生に対するアンケート

（表は、選択番号を数値化した平均）

各授業において、各自で自己評価して下さい。

〈1〉実験の内容について聞きます。3段階で評価し番号に○をして下さい。その他気づいた点は、[ ]内にご記入下さい。

【1】この実験に関する「テーマ」について

- ①内 容 1 興味深く独創的な実験である 2 普通  
3 単純であり興味が持てないのではないか
- ②方 法 1 生徒が自主的にできる内容である 2 適当  
3 教師（指導者）の誘導が必要である
- ③柔軟性 1 どんな困難にも生徒自身で対処できる内容である  
2 困難を助言で克服できる内容である  
3 計画が単純で助言の必要がない

【2】この実験に関する物理の知識について

- ①知 識 1 関連する物理の適切な知識や理解の使用が明確である  
2 物理の知識や理解も使用させているが経験重視である  
3 ほとんど経験重視である
- ②思 考 1 深い思考が必要である  
2 簡単な結果が推測され、それに従って進行している  
3 特に思考は必要としない
- ③対 象 1 私には難しい 2 私には適当 3 私には易しい

【3】先生の解説について聞きます。

- ① 説明のわかりやすさ 1 わかりやすい 2 普通 3 わかりにくい
- ② 説明時間 1 ちょうどよい 2 短い 3 長い
- ③ 説明に工夫がされていたか  
1 されていた 2 されていない 3 その必要はない

〈2〉班の活動状況について聞きます。4段階で答えて下さい。

- ①測定の様子が理解できていますか。  
1 できる 2 ある程度できる 3 ほとんどできない 4 全くできない
- ②定の手順はよかったですか。  
1 よい 2 まずまずよい 3 あまりよくない 4 まったくよくない
- ③観察と測定はきちんと行えていますか  
1 できている 2 およそできている 3 あまりできていない  
4 全くできていない
- ④データの解析（データから傾向や法則性を読みとったりグラフにして傾向を見るなど）はできましたか。  
1 できている 2 ある程度できている 3 あまりできていない  
4 まったくできていない
- ⑤測定している現象について、物理的な理解ができましたか。  
1 できた 2 すこしできた 3 あまりできなかった  
4 まったくしていない
- ⑥実験結果に影響しうる現象や測定結果について考慮しましたか。  
1 した 2 ほぼした 3 あまりしていない 4 まったくしていない
- ⑦発表の際実験結果とその説明などをわかりやすく伝えることができましたか。  
1 できた 2 およそできた 3 あまりできていない  
4 全くできていない
- ⑧行った実験の限界や問題点を理解しましたか。  
1 理解した 2 およそ理解した 3 あまり理解しなかった  
4 全く理解していない
- ⑨グループで協力できましたか  
1 できている 2 およそできている 3 あまりできていない  
4 全くできていない

	学年	〈1〉【1】			〈1〉【2】			〈1〉【3】			〈2〉								
		①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
21日 午後	1	1.6	2.2	2.0	2.2	2.6	1.6	1.6	1.4	1.2	2.0	1.8	2.0	1.6	2.4	2.4	3.0	2.2	1.8
	2	1.4	1.6	1.6	1.4	1.8	2.0	1.0	1.2	1.4	1.8	1.8	1.5	1.3	1.5	1.8	2.0	2.0	1.5
	3	1.6	1.8	2.0	1.6	1.4	1.6	1.8	1.4	1.2	2.2	2.0	1.3	1.7	1.7	2.0	2.3	2.3	1.3
	平均	1.5	1.9	1.9	1.7	1.9	1.7	1.5	1.3	1.3	2.0	1.9	1.6	1.5	1.9	2.1	2.4	2.2	1.5
22日 午前	1	1.6	1.2	1.5	1.8	1.6	1.4	1.8	1.2	1.2	2.0	2.4	1.2	1.2	1.6	2.2	2.5	2.2	1.4
	2	1.6	1.8	1.6	1.0	1.8	2.4	1.0	1.2	2.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.3	2.3	1.5	1.3
	3	1.7	1.9	1.6	1.6	1.7	1.5	1.4	2.2	1.0	1.9	2.0	1.6	1.5	1.8	1.5	2.0	2.0	1.3
	平均	1.6	1.6	1.6	1.5	1.7	1.8	1.4	1.5	1.5	1.8	2.0	1.4	1.4	1.6	2.0	2.3	1.9	1.3
22日 午後	1	1.8	2.0	2.3	2.0	1.8	1.5	1.3	1.5	1.3	2.0	1.8	1.8	2.0	2.5	2.5	2.5	2.3	1.5
	2	1.2	1.8	1.6	1.2	1.4	2.0	1.0	1.8	1.2	1.4	1.2	1.2	1.2	1.4	1.4	2.2	1.5	1.2
	3	1.6	1.6	1.9	1.4	1.4	1.7	1.6	1.0	1.0	1.6	1.9	1.7	2.2	1.7	2.3	2.3	1.8	1.5
	平均	1.5	1.8	1.9	1.5	1.5	1.7	1.3	1.4	1.2	1.7	1.6	1.6	1.8	1.9	2.1	2.3	1.9	1.4
23日 午前	1	1.0	1.0	1.5	1.8	1.5	1.8	1.8	1.5	1.3	1.8	1.8	1.3	1.3	1.5	1.8	2.0	1.5	1.3
	2	1.2	1.6	2.0	1.4	1.4	2.0	1.2	1.0	1.4	1.2	2.2	1.4	1.4	1.4	1.8	2.4	1.4	1.6
	3	1.6	1.4	1.9	1.5	1.5	1.9	1.1	1.0	1.0	1.3	1.5	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.3
	平均	1.3	1.3	1.8	1.6	1.5	1.9	1.4	1.2	1.2	1.4	1.8	1.3	1.3	1.5	1.7	2.0	1.5	1.4