

ISSN 0916-2674
CODEN: TDGHFG

筑波大学 技術報告

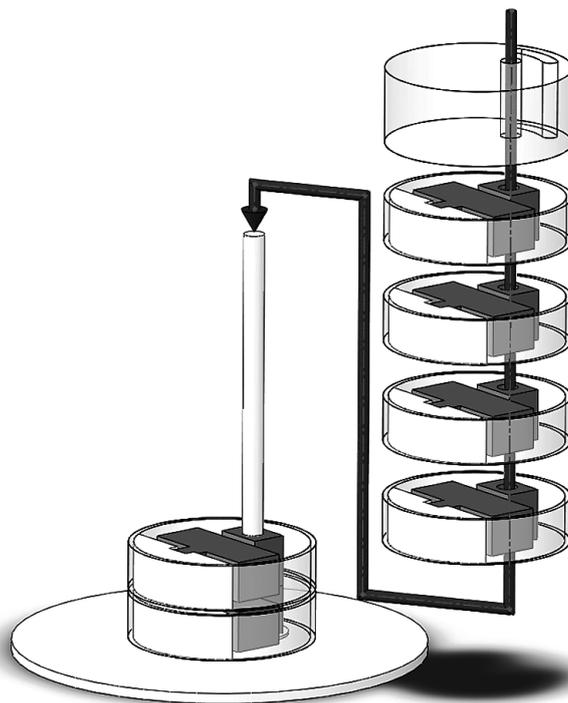
No. 32

TECHNICAL REPORT, UNIVERSITY OF TSUKUBA

2012

第11回筑波大学技術職員技術発表会報告集

<http://www.tech.tsukuba.ac.jp/2011/>



『筑波大学技術報告』 No.32 の発刊によせて

本学では、技術職員の業績を広く内外に紹介すること等を目的として、『筑波大学技術報告』を長年継続して発刊してきており、本年度は No.32 が発刊される運びとなりました。

本報告書は「第 11 回筑波大学技術職員技術発表会」（平成 24 年 3 月 9 日開催）における発表論文等から構成され、本学の技術職員が、教育・研究支援活動に携わる多忙な日常業務の中で、創意工夫をこらした、長時間にわたる研鑽や努力の成果報告です。また本発表会は、法人化後に各部局に分属された技術職員の全学的な活動の一環として定着しています。その準備段階において、技術発表会への積極的な参加・発表の奨励・啓発や学外者の参加を呼びかける広報活動等、今後のあり方の議論を含めて、技術発表会の開催や運営に関して大きな努力が払われてきています。

技術職員の職務は実験科学等の教育・研究支援活動のみならず、教材の作成、教育・研究機器の設置・維持管理、資料の整理等の広い範囲に亘っています。特に、最近では IT 技術の発達に伴うネットワークの利用等において、技術職員の果す役割はますます重要になってきています。一方、技術職員の将来への展望も考慮して職場環境等の改善を図るために、平成 20 年 7 月 1 日、各部局やセンターに対応する技術室を設置しました。全学的には、「技術職員の業務、配置、育成等に係る共通的な課題および将来的な在り方の検討並びに本部と技術職員組織の意思疎通の強化」を目的として全学技術委員会が設置され、現在、新教育研究体制準備に伴って、技術職員組織体制の在り方について検討している最中です。

本報告書の刊行により、本学技術職員の業績を広く学内外に紹介し、各方面より忌憚のない御意見や、御指導、御助言、激励等を頂くことができればと願っています。技術職員の育成と技術力を一層、向上させるために、各方面の御支援をよろしくお願い致します。

2012 年 3 月

筑波大学副学長（研究担当） 赤平 昌文

目次

『筑波大学技術報告』No. 32 の発刊によせて 赤平 昌文 筑波大学副学長（研究）	1
---	---

技術発表会報告集

試験問題作成支援システムの開発 土田 聡美 医学系技術室（医学教育企画評価室：実習担当）	1
養液栽培システムを利用した熱帯果樹栽培 大宮 秀昭 農林技術センター技術室 酒井 一雄 農林技術センター技術室 比企 弘 農林技術センター技術室 瀬古澤 由彦 生命環境系（助教）	7
紫外領域から赤外領域の写真撮影について 鷺野谷 秀夫 体育芸術系支援室	14
イメージの浮遊を志向した飛行船の制作 林 剛人丸 体育芸術系支援室	20
温暖化実験装置についての報告 金井 隆治 生命環境科学等技術室（菅平高原実験センター） 正木 大祐 生命環境科学等技術室（菅平高原実験センター）	24
Zabbix によるシステム監視 —システム情報工学等技術室研修報告— 川上 彰 システム情報工学等技術室 山形 朝義 システム情報工学等技術室 山崎 豊 システム情報工学等技術室	30
杭形ロードセルの製作 飯高 稔 システム情報工学等技術室（装置開発担当）	34

技術報告

DDR2 SDRAM をフレームバッファに使用した CMOS カメラ表示回路の実装 小野 雅晃 システム情報工学等技術室	37
筑波大学菅平高原実験センターにおける過去 40 年間の気象変化の傾向 清水 悟 菅平高原実験センター	42

東日本大震災 被害状況と対策報告

化学系・工学系実験室における東日本大震災の被害とその後の対策 伊藤 伸一 数理物質科学等技術室（物質工学域） 渡辺 秀夫 数理物質系・数理物質科学研究科 小泉 陽子 数理物質科学等技術室（化学域） 渡邊 ゆり子 数理物質科学等技術室（物理工学域） 稲葉 正志 生命環境系・生命環境科学研究科（生命共存専攻）	51
震災後の職場巡視のための通路の 5S 及び安全確保、 書架・オフィス家具転倒防止についての調査 柏木 保人 総務部環境安全管理課 岩原 正一 総務部環境安全管理課	56

医学安全管理室の東日本大震災に対する取り組み

渡邊 祐子	医学系技術室	
新里 寿美子	医学系技術室	
櫻井 秀子	医学系技術室	
大野 良樹	医学系技術室	
磯部 和正	医学医療系（医学安全管理室室長）	・・・・・・60

生命環境科学周辺における東日本大震災での被害例とその後の対応

飯島 英夫	生命環境科学等技術室（陸域環境研究センター）	
木澤 祥恵	生命環境科学等技術室（応用生命科学グループ）	
清水 雅浩	生命環境科学等技術室（地球科学グループ）	
土屋 泰孝	生命環境科学等技術室（下田臨海実験センター）	
山末 亜貴	生命環境科学等技術室（応用生命科学グループ）	
和田 睦子	生命環境科学等技術室（応用生命科学グループ）	・・・・・・65

震災における書庫や書籍等の転倒落下とその対策

北原 匡	システム情報工学等技術室（安全衛生管理グループ）	
神戸 昌幸	システム情報工学等技術室（安全衛生管理グループ）	
雨谷 恵	システム情報工学等技術室（安全衛生管理グループ）	
中島 孝	システム情報工学等技術室（安全衛生管理グループ）	・・・・・・71

第11回筑波大学技術職員 技術発表会報告集

開催日：2012年3月9日
会場：筑波大学総合研究棟B 公開講義室



筑波大学技術職員技術発表会の公式ウェブサイト
<http://www.tech.tsukuba.ac.jp/2011/>

試験問題作成支援システムの開発

土田 聡美

筑波大学医学系技術室 医学教育企画評価室 (PCME) 実習担当

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

医学類の卒業試験の問題数は数百と多いが、その表示様式は数パターンしかない。データベースソフトを用いれば、決められた表示様式で出力させることが容易である。そこで、FileMaker Pro Advanced (ver.9) というデータベースソフトを使用して試験問題入力フォーマットの配付、回収、編集、出力を行なうシステムを構築した。また、データベースの機能を利用して、試験問題に使用する表現、用語の書き換えをある程度まで自動化した。

キーワード: 試験問題編集、FileMaker Pro、ランタイムソリューションアプリケーション

1. はじめに

試験問題の様式や文章の表現、用語が指定されているとき、その編集作業は単純作業の繰り返しが非常に多くなる。ワープロソフトを用いてカード形式で行なってきた従来の編集作業を、データベースソフトを用いるシステムに移行したことでより速く、正確にできるようになった。

このシステムは平成19年秋から開発を始め、平成21年度に導入することができた。その使用対象者数は試験問題を作成するグループとして40弱、教員として200名前後である。

2. 試験様式

筑波大学医学群医学類における総合試験(卒業試験)は年3回あり、8月下旬に349問6分冊、12月上旬と下旬にそれぞれ427問7分冊で行なわれている。

試験問題には基本的な内容を問う「一般問題」と、具体的な症例を示してその情報の理解、解釈を問う「症例(臨床)問題(以下症例問題と示す)」の2種類がある。症例問題では、同じ症例に対して2つ以上の設問を設ける「連問」を作成することもある。それぞれの問題では写真や表(以下添付図と示す)を示すこともある。

これらをそれぞれ、医学総論、医学各論といった出題領域別に6分冊として製本する。ほかに、「必修問題」では1冊子で一般問題と症例問題とを出題する。また、添付図は分冊ごとに別刷りとして提示する。

試験問題の表示様式の例を図1に示す。問題番号の位置、選択肢の並べ方、図表枠の位置など問題の種類や選択肢の長さなどによってそれぞれ異なる。また、試験問題に使用する表現・用語は医師国家試験出題基準に準じて書き換えをしている(表)。

a 一般問題

15 ●●に当たる▲▲で、正しいのはどれか。
 A ●●● B ○○○ C ●●●
 D ▲▲▲ E ○○○

c 連問

25 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 26 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 27 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 28 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 29 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 30 ●●●の成分、●●●を主成分とする。

b 症例(臨床)問題

24 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 25 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 26 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 27 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 28 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 29 ●●●の成分、●●●を主成分とする。
 30 ●●●の成分、●●●を主成分とする。

図 1. 表示様式の例

表 表現・用語の書き換え例

	正	誤
漢字の表記	歳	才
検査名・疾患名の表記	エックス線	レントゲン
表現	正しいのはどれか。2つ選べ。	正しいものを2つ選びなさい。
人名の表記	Down 症候群	ダウン症候群

3. 従来の作業における問題点

ワープロソフトを用いて編集作業を行なう従来の方法は次のようなものであった。

試験問題の編集担当者は一般問題用と症例問題用のカードに問題番号を記入して問題作成者に渡す。

問題作成者はワープロソフトなどで問題を作成する。添付図は本文に直接挿入するか、図ファイルのままとする。これを印刷し、カードに貼りつける。カードには問題作成者名のほか、添付図の種類と枚数などを記入する。このカードと電子データを編集担当者に提出する。

このワークフローにおける問題点は以下のようなものであった。

- 提出された電子データの試験問題本文に、指定した問題番号が付いていないことがある。
- 電子データと問題番号との照合に時間がかかる。
- 試験問題本文とその添付図の関連付けに手間がかかる。
- 各問題の電子データを各試験ごとの分冊にする手間が膨大である。
- フォントの種類、大きさ、行頭揃えなどのスタイルを付ける手間が膨大である。
- 表現、用語の不一致が起こる。
- 問題カードの並べ替えや、電子データとの照合に時間がかかる。

4. ファイル構成とシステムの運用

試験問題作成支援システムにおけるファイル構成とワークフローを図 2 に示す。

「国試出題基準ファイル」は医師国家試験の出題領域をリストにしたファイルで、問題作成者がどの領域から出題したのかを入力するための参照ファイルである。「置換表ファイル」は、編集時に「検索と置換」を自動的にこなわせるためにその単語をリストにした定義ファイルである。これらのファイルをメインの「試験問題作成支援ファイル」と別にすることにより、ファイルの内容を変えたときの差し替えを容易にした。

試験問題の編集担当者はグループ長に試験問題ごとの作成者を問合せ、その内容を「試験問題作成支援ファイル」の「作成担当一覧テーブル」に読み込み、「国試出題基準ファイル」とともにランタイムアプ

リケーションを作成して配付する。

問題作成者はランタイムアプリケーションを起動し、作成者情報画面(図 3)で自分の名前を選んで、次に表示される作成担当一覧画面から試験問題の作成を始める。添付図を付ける場合はこのアプリケーション内に読み込む。試験問題をすべて作成したら、ランタイムアプリケーション内の指定されたファイルを編集担当者に提出する。

編集担当者は提出されたファイルを「試験問題作成支援ファイル」の「メインテーブル」と「図テーブル」にそれぞれ読み込み、「置換表ファイル」を利用して表現、用語の書き換えを行なう。パターン化できない用語などは手動で校正を行なう。校正ができたなら問題番号でソートさせ、紙に出力する。図は問題情報をファイル名として書き出し、紙で出力した一覧表(図 4)を参照して編集を行なう。

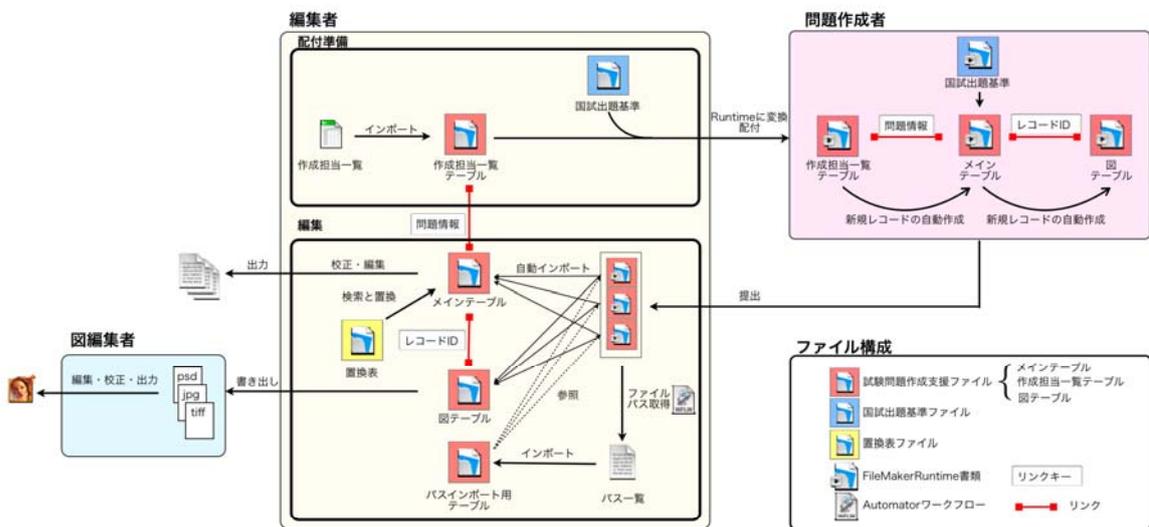


図 2. ファイル構成とワークフロー

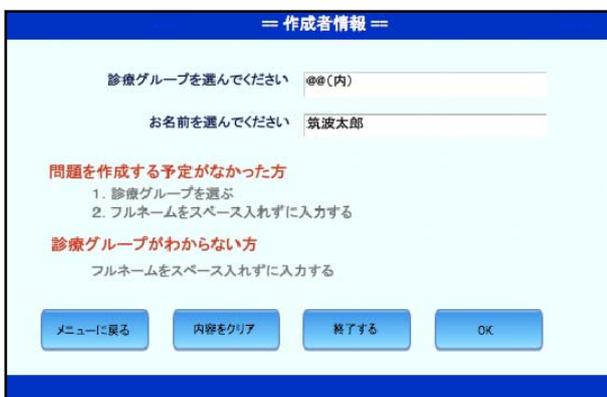


図 3. 作成者情報画面

a レイアウト

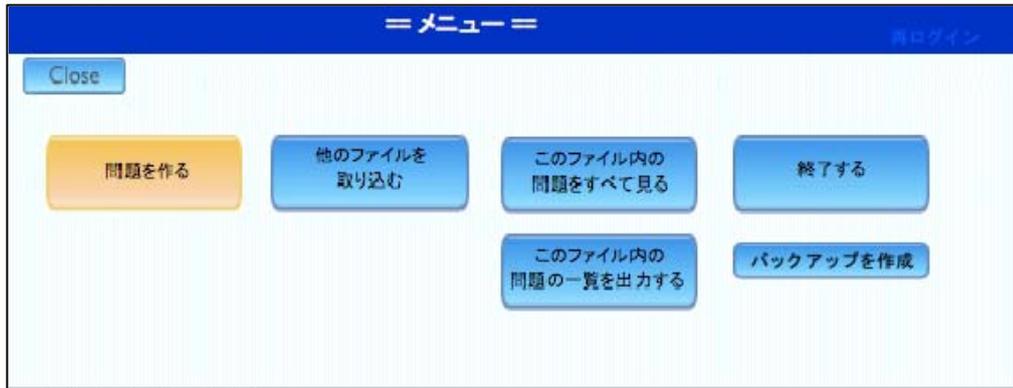


b 表示例



図 4. 図一覧

a 問題作成者用



b 編集者用

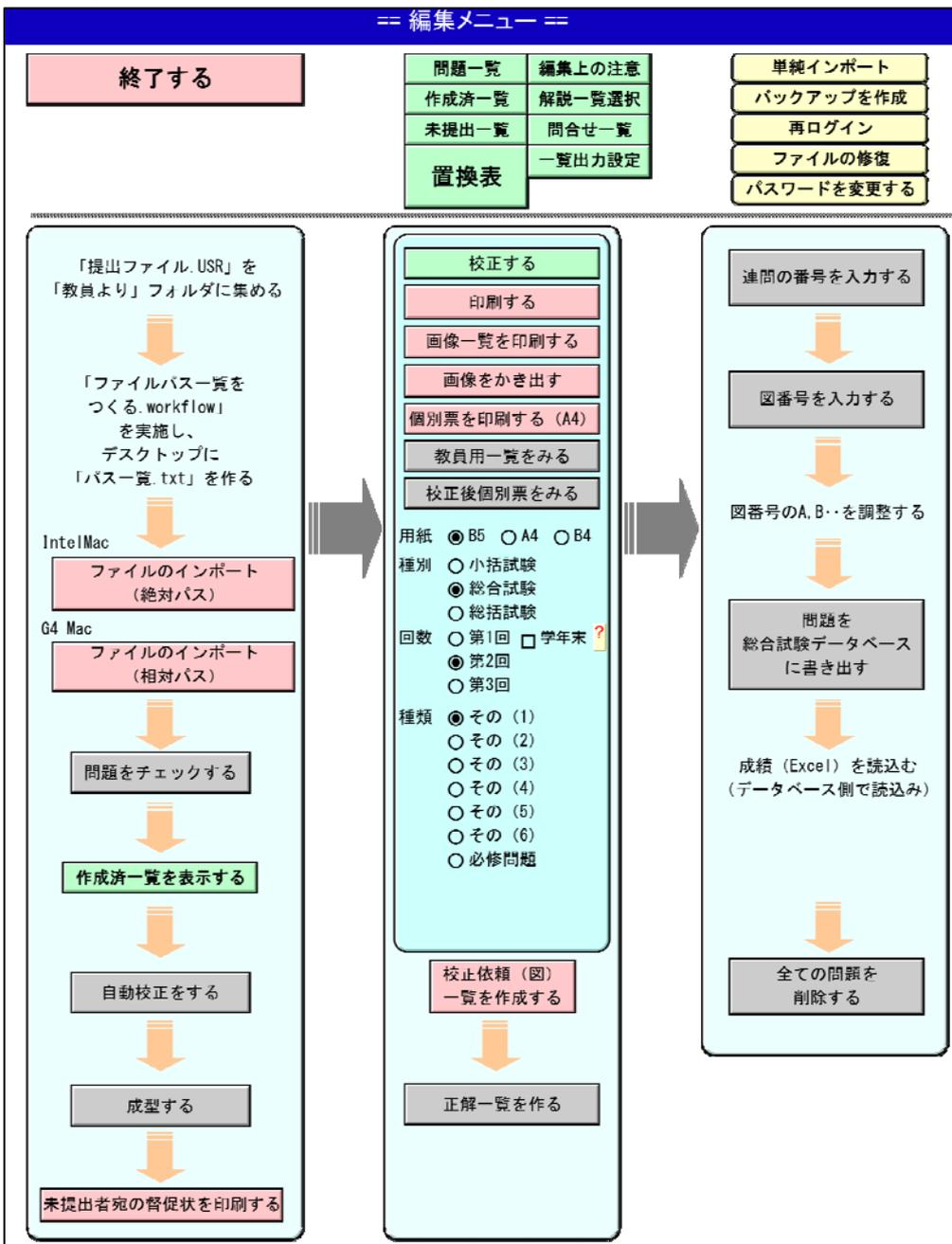


図 5. メニュー画面

5. システムの設計

5.1 設計にあたって

データベースソフトを用いて構築されたシステムでは、ワープロソフトを使用する場合と操作性が全く異なる。そのために、まずシステムを起動したときに何をすれば良いのかがわかりやすいように画面設計をした。操作マニュアルを見なくても使用できるよう、画面上に操作の説明を表示したり、次の操作のためのボタンを配置したりし、そのボタンにスクリプトや関数を割当てた。また、アラートなどで使用者に操作法を表示した。

本システムは試験問題の作成者（教員）とその編集者（技術職員）とが使用する。入力された試験問題を編集者が不用意に書き換えてしまうことは絶対に避けなければならない。そこで、編集時には問題が入力されたフィールドの内容を別のフィールドにコピーし、そのフィールドを校正するようにした。

さらに、アクセス権を設定して問題作成者が編集者用のフィールドに誤って入力しないようにし、システムを起動したときに問題作成者と編集者として表示されるメニューも変え、お互いのスクリプトやフィールドにアクセスしないようにした（図 5）。

5.2 国試出題基準ファイル

「国試出題基準ファイル」とは、厚生労働省が定めている医師国家試験問題の出題範囲をリストにしたものである。大大項目として必修の基本事項、医学総論 9 章、医学各論 13 章があり、それぞれ大項目、中項目、小項目、備考と細分化されていく。

小項目までを基準として 1 レコードとした。レコードには ID をつけ、ID を試験問題の入力画面で入力すると、すべての項目がルックアップにより入力されるようにした。また、試験問題の入力画面から、動的値一覧を利用して大大項目から絞り込んで入力できるようにもした（図 6）。

項目数は 4,000 近くあり、目的の項目がどこにあるのかを探すのも容易でない。そのため、「国試出題基準ファイル」にキーワードで検索できる機能をつけた。検索モードにして、入力された検索語をすべてのフィールドにコピーして検索を実行させることにより、Excel と同じように検索をさせることが可能となった。

図 6. 国試出題基準入力欄

5.3 試験問題作成支援ファイル

5.3.1 印刷レイアウト

印刷に使用しているレイアウトを図 7 に示す。試験では一般問題や症例問題では問題文、選択肢、図表枠を常に同じページに、連問の場合は、1 ページに収まらなかった場合は見開きページとし、症例

文とそれに続く図表枠を同じページに、問題文と選択肢を次のページに表示することになっている。連問の下に他の問題を表示する場合は、数行分のスペースをあげ、連問と混同することがないようにしなければならない。紙面節約のため選択肢の長さが短い場合には 3 列表示とし、1 ページにはなるべく多くの問題を表示させるようにしている。

FileMaker Pro でデータを表示させるには、あらかじめレイアウトを作成する必要がある。レイアウトは自由に設計できる反面、レコードごとにレイアウトを変えることはできない。よって、想定されるすべてのパターンがすべて表示できるようにレイアウトを作成する必要がある。また、フィールド内に「改ページ」を挿入することができない。

FileMaker Pro には、フィールド内の情報量に応じて印刷時にそのフィールドを縮小し、上方に空白スペースがあればそれを除去してフィールドをスライドする「スライド/印刷設定」機能があり、同時にそのフィールドが置かれた部分を縮小することもできる。

印刷用レイアウトでは十分に長いフィールドをページ区切りを超えてレイアウトし、「スライド/印刷設定」を使用した。すると数レコードを 1 ページに印刷したあとにレコードが分断されることなく自動的に改ページされるようになった。しかし、レコードの内容が多く、1 ページに入りきれない場合にはフィールドの途中であっても次ページに送り出されてしまった。そこで改ページを挿入する必要がある、連問の場合の症例文と問題文との間に、レコードの末尾に調整用のフィールドを設け、そこに空白行を入力して次ページにデータを送り出せるようにした。

試験問題に添付図がある場合は、それを示す枠を表示することになっている。表示する位置は、単問（図 1b）と連問（図 1c）とで異なる。このため、フィールドを 2 つ作り該当する方にデータを入力するようにした。枠線はフィールドの枠線を利用することによって、データが入力されていなければ印刷されないようにすることができた。

選択肢の行頭文字は A ～ N とし、選択肢の内容の長さによって 1 列か 3 列で表示することになっている（図 1c）。ワープロソフトを用いていたときは行頭文字を問題作成者が入力していたが、大文字と小文字、全角文字と半角文字とが混在していて、その修正作業に大変手間がかかっていた。そこで入力用のフィールドを 1 肢ごとに作り、表示用に計算フィールドを作成した。Length 関数を用いてフィールド長を自動的に判定する方法は半角文字も全角文字も 1 文字と数えられてしまうため使用できなかった。そのため、チェックフィールドを作成してこのフィールドの入力の有無で表示を切り替えることにした。また、このときに行頭文字が入るように指定した。チェックフィールドへの入力は、編集時に編集者が表示用のフィールドを見ながら行なうこととした。

5.3.2 作成担当一覧テーブルとメインテーブル

以前の、問題番号を書いたカードを配付して試験問題を添付してもらおう方式では、問題番号が重複したカードや白紙のままのカードが返却されることはないが、入力フォーマットを電子ファイルで配付す

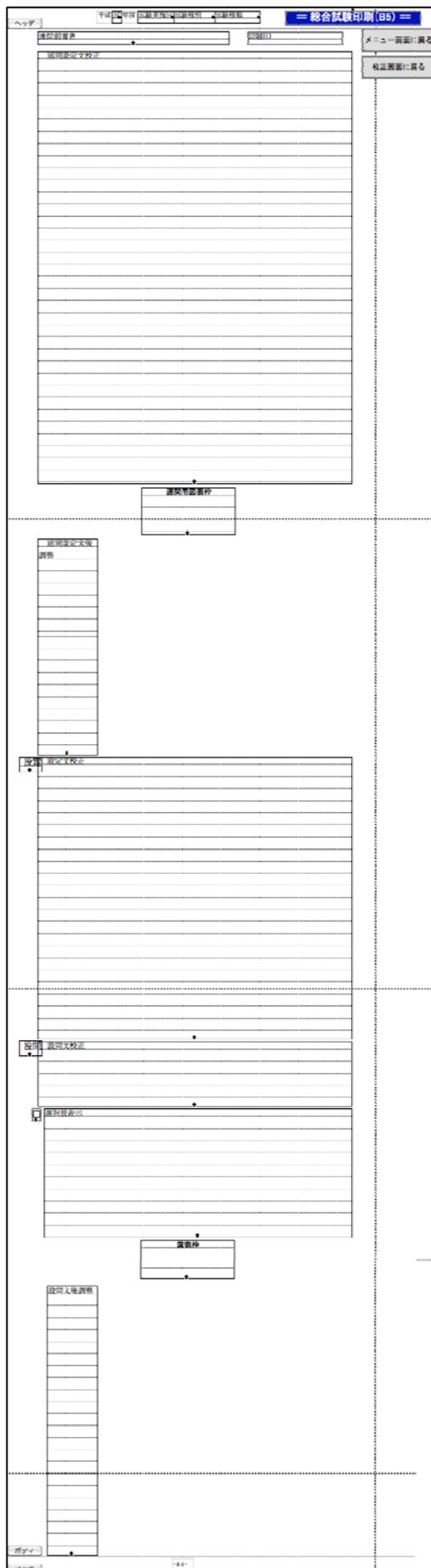


図 7. 印刷レイアウト

るとこのようなことが起きる恐れがあった。問題番号を入力してからファイルを配付すると、ファイルをコピーしたときに問題番号のみが入力された空白レコードができてしまう。一方、問題作成者が問題番号を入力する場合は、番号を正しく入力せず、番号が空白となったり 1 ～ 5 番の若い番号で重複が起きたりすることが想定された。

このため、あらかじめ各試験問題に問題作成者を割当て一覧表にした「作成担当一覧テーブル」を作成し、ここから試験問題を作成するときに「作成担当一覧テーブル」の問題情報を「メインテーブル」にコピーして新規レコードが作成されるようにした。他の人に割当てられた試験問題を誤って作成しないよう、「作成担当一覧テーブル」を表示する前に、「作成者情報画面」(図 3) で選ばれた人に割当てられている問題だけを表示するようにした。

さらに、問題情報をキーとして「作成担当一覧テーブル」と「メインテーブル」とリレーションさせ、試験問題を作成したことを「メインテーブル」に表示させるようにした。

5.3.3 添付図の取扱い

添付図は図の編集者が画像加工ソフトを用いて修正し、紙面を節約できるよう配置して別冊として試験に供している。

図の配置忘れや配置順の間違いを防ぎ、参照番号をふる作業を簡便にするため、図と問題番号、参照番号を一覧にしたものを出力することにした。ところが、「メインテーブル」上に繰り返しフィールドを作成して図を挿入すると、一覧表にしたときに図が挿入されていないフィールドは空白のまま出力されてしまった。

そこで「メインテーブル」に図が挿入されたときに「図テーブル」に新規レコードが作成されるようにした。「メインテーブル」には問題作成担当者名と日付と時刻で生成されるレコード ID をつけ、これを「図テーブル」にコピーしてリンクキーとし、2 つのテーブルをリレーションした。

図の挿入は「ピクチャを挿入」を使用し、図のエクスポートは「フィールド内容のエクスポート」スクリプトを使用した。エクスポートするときのファイル名を「問題情報と挿入した図のファイル名」で表される変数とした。しかし、問題作成者がコピー＆ペーストで図を挿入した場合は、エクスポートされたファイルに拡張子が付かず使用できない。この場合は編集画面に表示される図をコピーして、新たに図ファイルを作り、同様な名称をつけている。

5.4 置換表ファイルと自動校正

試験に使用する表現、用語は医師国家試験に準じていなければならない(表)。本システムに自動校正機能をつけ、その書き換えをある程度まで自動でできるようにした。

自動校正では、書き換える前のデータが失われないうよう、問題文、選択肢とも校正用のフィールドにコピーしてから校正されるようにした。また、コピーする際に、入力されたフォントの種類や大きさ、スタイルといった情報を取り除くことによってフィールドにあらかじめ指定したフォントで表示される

ようにした。同時に行末の不要な改行が取り除かれるようにした。用語の書き換えは、書き換えの対象となる用語とその書き換え候補の 1 組を 1 レコードとした「置換表ファイル」を作成し、その 1 レコードを「メインテーブル」にコピーして Substitute 関数を用いて検索と置換を行なうといった作業を繰り返し、「置換表ファイル」のすべてのレコードについて自動で行なえるようにした。

5.5 ランタイムアプリケーションの作成とファイルの回収

入力フォーマットは「試験問題作成支援ファイル」と「国試出題基準ファイル」とをランタイムアプリケーションにして配付している。このときに指定する拡張子とバインドキーを Windows と Macintosh とで同一にしておく、作成されたファイルが相互に読めるハイブリッドアプリケーションができる。作成されるアプリケーションは全体で 100 MB 程度になるが、データを格納するファイルは数 MB なので、データファイルのみを回収するようにした。

回収したファイルの内容を編集用の「試験問題作成支援ファイル」にインポートさせるには、ファイルが置いてある場所までのパスを指定する必要がある。そこでパス用フィールドを作成して、このフィールドを変数として指定した。ファイルのパスは Apple 社のワークフロー構築ソフトである Automator を使用して取得させ、一覧として保存させた後、その 1 行を 1 レコードとして「試験問題作成支援ファイル」に読込ませた。インポートはテーブルごとに行なう必要があるため、「メインテーブル」と「図テーブル」の 2 つをインポートするようにした。

6. 出力

試験問題を本刷りする前に、問題作成者による校正が必須である。この校正は、問題作成者が入力したものと編集者が校正したものを見比べながら行われる。そのため、この 2 種類を紙に出力する。

問題作成者が入力したものは問題ごとに、問題情報、校正前の問題文、選択肢、解答、解説などを 1 枚としたもの、添付図を 1 枚としたものを出力する。編集者が校正したものは試験問題冊子の版下となる、分冊ごとに問題番号順に問題文と選択肢を並べたものである。

問題番号でソートさせてからこれらの形式で出力させることにより、カードを並べ替えるときのような手間を省くことができた。

7. 導入と今後に向けて

開発を始めた当初は「テーブル」や「変数」といった概念を理解できなかった。インターネット上にある質問サイトに掲載されているスクリプトを読み、理解できるようになるまで大変な時間を要した。現在では、このシステムがもっと簡単な構成やスクリプトで作ることができたことがわかるようになった。

入力フォーマットは Acrobat フォームや問題作成者が使い慣れている Excel を考えたが、Acrobat ではポップアップリストや図の添付ができずに断念した。Excel では添付図を画像加工ソフトにコピー＆ペーストする必要がある。しかし、添付図が少なく、すでに入力フォーマットを Excel で配布していたほかの試験では、そのまま導入することにした。

使い手にとってわかりやすいものを心がけて開発したが、それでもある程度のシステムの使用法を学んでもらう必要があった。そのためシステム導入当初は、文字を読まなくてもすむように動画によるマニュアルを配布した。

システム導入後は、問題未提出者への督促状や、問題内容確認のための問い合わせ票、試験後の解説に使用する解説一覧などの出力も依頼されるようになり、その都度機能を追加してきた。こういったニーズに素早く対応できるのはシステム構築を外注せず、当事者である技術職員が自ら開発したためである。今後もより使いやすさを求めてブラッシュアップしていきたい。

Development of a system to aid in exam question drafting

Satomi Tsuchida

Technical Service Office for Medical Science, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

Graduation exams in medical fields feature several hundred questions, but there are few ways in which these problems are presented. Use of database software would allow questions to be presented in a pre-determined manner. Thus, FileMaker Pro Advanced (ver. 9) database software was used to construct a system to distribute, collect, edit, and output exam question entry forms. In addition, database features have been used to draft questions to an extent by automatically replacing expressions and terms used in exam questions.

Keywords: exam questions, FileMaker Pro, run time solution application

養液栽培システムを利用した熱帯果樹栽培

大宮 秀昭^{a)}、酒井 一雄^{a)}、比企 弘^{a)}、瀬古澤 由彦^{b)}

^{a)} 筑波大学農林技術センター技術室、^{b)} 筑波大学生命環境系

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

加温ハウス下での養液栽培システムを利用した熱帯果樹栽培を 2008 年度より 3 年間行なった。栽培試験を行った結果、パッションフルーツ、スターフルーツ、マンゴーの 3 作目のいずれでも新梢の生長が良好であった。また、果実の着果も確認することができたことから、つくば市においても熱帯果樹の加温ハウス下での養液土耕栽培は可能と考えられた。特にパッションフルーツにおいては、果実の収穫が夏季と冬季の年 2 回可能であった。定植するポットは果実の品質や収量性から実用性を検討したところ、全面遮根型の不織布ポットが良いと考えられた。

キーワード：熱帯果樹、養液土耕栽培、パッションフルーツ、不織布ポット

1. はじめに

一般的に果樹栽培において、成長開始前（冬季）の休眠期に元肥を施用し、生育状況を確認しながら追肥、さらに果実収穫後に礼肥を行う。しかし、経験や勘による施用が多いため、多肥傾向であり、塩類集積により作物生育が阻害され、生育不良や減収を招くおそれがある。また、果樹露地栽培では、収穫量や果実品質を良くするために、窒素施用量で作物体吸収量以上の過剰施肥が行われており、地下水、河川への流出から水質の富栄養化等の環境問題が問題視されている。

そのようなことから、これらの諸問題に対し、施設野菜等で行われている養液土耕栽培を利用することで、灌水と液肥を同時施用し、施肥効率を向上させ環境負荷を低減することが出来るようになる。また、養液栽培システムを利用することで、養液の散布量が均一になり、生育を安定させながら、低コストで収穫作業の軽減等の省力化、収穫量増と品質向上の可能性を図ることができると考えられる。

近年、我が国においてはマンゴー（図 1）等の熱帯果樹の需要は年々高まってきており、高品質な国内産果実はかなりの高価格で取引されている。しかし、その要求される気候条件によって、国内における生産地は九州、沖縄等に限定されている。そして、マンゴー以外の熱帯果樹でも、パッションフルーツ（図 2）は栄養成分に β カロテンが豊富に含まれており、他にカリウム、ビタミン B6 の成分を有し、老化防止、高血圧予防、健康維持に役立つ果物である。また、スターフルーツ（図 3）は特に剪定等の作業労力に手を掛ける必要も無いことから施設栽培に向く作目と考えられる。また、ビタミン C、植物繊維を多く含むことから健康志向にも良いと考えられ、我が国においてこれからの消費の拡大が十分見込まれる。

そこで北関東に属する茨城県つくば市において、気候的に不適地における熱帯果実の生産を効率的に行うため、加温ハウス下での養液栽培システムを利用した熱帯果樹栽培試験を 2008 年度より実施した。



図 1. マンゴー果実
(2011 年 12 月 6 日撮影)



図 2. パッションフルーツ果実
(2011 年 12 月 6 日撮影)



図 3. スターフルーツ果実
(2011 年 7 月 22 日撮影)

2. 材料および方法

2008年から筑波大学農林技術センター内の冬季加温可能な温室内で熱帯果樹栽培試験を行った。温室内気温が15℃以下になると暖房機器が作動するように設定した。2008年はスターフルーツ‘蜜桃(ピットー)’、マンゴー‘アーウィン’、パッションフルーツ紫系交雑種の3作目を3本ずつ供試し、不織布ポット(J-master(口径15cm)、全面遮根型(R型)、GUNZE)で樹体の根域制限を行った。そして、養液土耕栽培システム(図4)を作製することで、水溶性園芸肥料『養液土耕2号』(N14-P8-K25、(株)大塚化学)の養液EC値(電気伝導度)を1ds/mに希釈した養液をチューブ点滴で1分30秒/1回を6回/1日施用した。



図4. 養液栽培システム(2008年度)



養液栽培装置
(株)サンホープ

雨樋を利用した
栽培システム



図5. 養液栽培システム(2009年度以降)

2009年度以降は2008年度の調査結果からパッションフルーツに重点をおいて試験を行なった。そして、パッションフルーツは雨樋と養液栽培装置((株)サンホープ)を利用したシステム(図5)を用いた。マンゴーおよびスターフルーツに関しては低段ベンチでコンテナを使用した養液土耕栽培を実施した(図6)。施肥は水溶性園芸肥料『養液土耕2号』を12000倍に希釈した養液をチューブ点滴で3分/1回を4回/1日施肥した。パッションフルーツの仕立て方法は2009年度以降から棚仕立て(T字1本仕立て)とした。収穫はパッションフル

ーツが8月下旬~9月下旬(夏実)、1月上旬~2月下旬(冬実)の年2回、スターフルーツが1月下旬~3月上旬、マンゴーは8月中下旬に行った。



低段ベンチ
(熱帯果樹配置前)



熱帯果樹配置後

図6. 低段ベンチによるコンテナを利用した熱帯果樹の養液土耕栽培(2009年)

試験は、2008年はマンゴーにおいて樹体生長を測定するとともに、葉中に含まれる葉緑素量について、葉緑素計(SPAD-502、ミノルタ)を使用して、SPAD値(ミノルタ製葉緑素計の指示値)を測定した。2009年はパッションフルーツを用いて黒色のポリエチレンポット(口径10cm、栽植間隔50cm)並びに不織布ポット(全面遮根型(R型)、口径15cm)(図7)の栽植間隔(25cm、50cm、100cm)の違いによる栽培試験を実施し、果実収穫後に地上部、地下部の生長量を調査した。



図7. 試験に使用した定植ポット(2009年)

左側：不織布ポット：J-master R (GUNZE)

口径：15cm 全面遮根型

右側：ポリエチレンポット(黒)

口径：10cm

2010年についてもパッションフルーツで不織布ポット(J-master(口径15cm)、全面遮根型(R型)、側面遮根型(T型)、底面遮根型(K型)、GUNZE)の3種類並びに全面遮根型の不織布ポットを用いて定植年数の違いによる栽培試験を栽植間隔25cmで実施した(図8)。試験は新梢生長とSPAD値

を計測し、果実収穫後に植物体の解体を行い、地上部、地下部の生長量を測定した。また、葉面積を画像解析によって測定した。果実に関しては果実径、重量を測定し、果実糖度を調査した。



全面遮根型 (R 型)



側面遮根型 (T 型)



底面遮根型 (K 型)

図 8. 試験に使用した定植ポット (2010 年)
不織布ポット: J-master (GUNZE)、口径 15 cm

3. 結果

2008 年度は気候的に不適地における熱帯果樹の樹体生長並びに着果から果実生産の可能性について検討した。試験に用いた樹種の中でも、パッションフルーツの生育は良好で、夏季、冬季の年 2 回の果実収穫が可能であった。夏季は、開花が 5 月下旬～7 月中旬、収穫が 8 月上旬～9 月下旬、冬季は、開花が 9 月中旬～10 月上旬、収穫が 1 月上旬～2 月下旬となった。開花から収穫までの期間は、冬実が 126.6 日に対して夏実が 70.9 日であり、収穫まで冬実が夏実の約 1.8 倍の日数を要した。また果実糖度は夏実が 15.5 度、冬実が 16.9 度であり、冬実の方が高くなった。このことから、成熟までの期間は長くなるものの、加温することで冬実でも良質な果実が取れると考えられた (図 9、表 1)。



定植時
(2008 年 4 月 1 日)



収穫時
(2009 年 2 月 17 日)

図 9. パッションフルーツ生育状況

表 1 パッションフルーツ果実の収穫時期別品質比較 (2008 年)

収穫時期	受粉後日数 (日)	重量 (g)	果実径		糖度 (%)
			縦径(mm)	横径(mm)	
夏実	70.9 ± 1.1	58.6 ± 1.0	62.4 ± 0.4	52.9 ± 0.3	15.5 ± 0.1
冬実	126.6 ± 1.4	60.6 ± 2.0	58.0 ± 0.6	51.7 ± 0.6	16.9 ± 0.1

(平均値 ± 標準誤差)

次いでスターフルーツでも生育は良好であり、9 月上旬に開花が始まり、10 月上旬に着果が確認できた。果実は 10 月下旬には 2 cm 程度の大きさになり、1 月下旬には 17 cm 程度の大きさになり、収穫を行った (図 10)。



定植時
(2008 年 4 月 1 日)



生育途中の状態
(2008 年 9 月 11 日)



着果確認 3 週間
後果実
(2008 年 10 月 22
日)

収穫時
(2008 年 1 月 16
日)



図 10. スターフルーツ生育状況

マンゴーでは、11 月中旬から新梢が生長を開始し、1 月中旬に開花が確認できた。その後、2009 年

7月下旬に果実収穫は出来たものの、受精が上手くいかず、無核で小さな果実が多かった(図11)。



定植時
(2008年4月1日)



開花時の樹木の状態
(2009年1月16日)



蕾
(2009年1月16日)



花
(2009年2月6日)



収穫した果実
(2009年7月28日)

図11. マンゴー生育状況

2009年度はパッションフルーツに重点をおいて、定植ポットの素材並びに栽植間隔の違いによる栽培試験を実施した。冬実の収穫後に行なった生長量調査では、ポリエチレンポットと不織布ポットのいずれも栽植間隔50cm区では、新梢長はポリエチレンポット区で84cm、不織布ポット区では154cmであった。地上部の生体重はポリエチレンポット区で51.1g、不織布ポット区80.0g、地下部の生体重はポリエチレンポット区で18.8g、不織布ポット区34.0gとポリエチレンポット区はいずれの項目でも不織布ポット区よりも明らかに劣る結果となった。不織布ポットを用いて栽植間隔を変えたところ、新梢生長は不織布ポット25cm区が175cmと最も生長した。地上部は不織布ポット25cm区(生体重94.8g、乾物重31.0g)と不織布ポット100cm区(生体重93.2g、乾物重30.3g)で、生長が良く、両者に差はみられなかった。地下部は不織布ポット100cm区が生体重52.2g、乾物重7.0gと最も生長していた(表2、図12)。

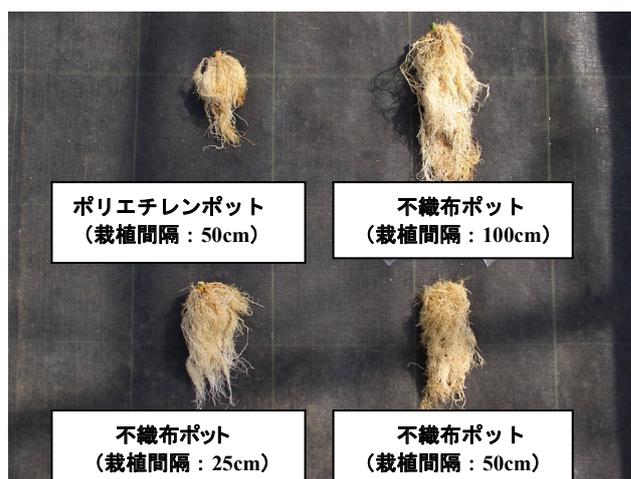
表2 定植ポットの素材並びに栽植間隔がパッションフルーツの生長量に及ぼす影響(2009年)

素材	栽植間隔 (cm)	新梢長 (cm)	地下部		地上部	
			生体重(g)	乾物重(g)	生体重(g)	乾物重(g)
不織布	25	175 ± 2.8	27.5 ± 3.6	4.3 ± 0.2	94.8 ± 6.7	31.0 ± 0.6
不織布	50	154 ± 7.8	34.0 ± 4.8	5.2 ± 0.7	80.0 ± 6.8	25.5 ± 2.3
不織布	100	145 ± 10.5	52.2 ± 0.9	7.0 ± 0.6	93.2 ± 5.1	30.3 ± 1.3
ポリエチレン	50	84 ± 24.1	18.8 ± 1.6	3.0 ± 0.2	51.1 ± 7.9	16.0 ± 2.9

(平均値±標準誤差)



地上部の生長状況



地下部の生長状況

図12. 定植ポットの素材並びに栽植間隔がパッションフルーツの地上部および地下部生長に及ぼす影響(2009年)

果実では、受粉から収穫までの生育期間が冬実は122日、夏実が73日であり、冬実は夏実の約1.7

倍の生育期間が必要であった。果実重量は冬実が 51.5 g、夏実が 38.1 g と冬実が夏実の約 1.4 倍の重量であった。しかし、果実糖度は夏実は 15.0 度、冬実が 15.1 度と変わりはない(表 3)。夏実では定植ポットの素材の違いで比較してみると、受粉から収穫までの生育期間は、ポリエチレンポット区が 64 日と短期間で生育した。しかし、重量ではポリエチレンポット区は 29.2 g、不織布ポットが 32.8 g とポリエチレンポット区が若干劣る結果となった。果実径、糖度では差はみられなかった。栽植間隔の違いで比較してみると、生育日数に差はみられなかったが、不織布ポット 25 cm 区が重量は 43.7 g、果実糖度が 15.5 度と、ともに最も良かった。冬実では素材の違いでは、ポリエチレンポットが重量、果実径で劣る結果となったが、生育日数、糖度は、不織布ポットと差はみられなかった。栽植間隔の違いで比較すると夏実同様、生育日数に変わりはないが、重量は不織布ポット 100 cm 区が 64.1 g と最も良かった。しかし、いずれの区とも果実糖度には差はみられなかった(表 4)。

収量性 (147 m²、1 ライン 12 m × 5 ラインで算出) は、素材の違いで比べてみると、ポリエチレンポット区は夏実が 0.58 kg / 147 m²、冬実は 2.48 kg / 147 m²であり、不織布ポットは夏実が 2.62 kg / 147 m²、冬実は 8.7 kg / 147 m²となり、ポリエチレンポット区は明らかに劣る結果となった。栽植間隔で比べてみると、不織布ポット 25 cm 区が夏実は 4.37 kg / 147 m²、冬実が 13.31 kg / 147 m²と共に高かった(図 13)。

表 3 パッションフルーツ果実の収穫時期別品質比較 (2009 年)

収穫時期	受粉後日数 (日)	重量 (g)	果実径		糖度 (%)
			縦径(mm)	横径(mm)	
夏実	73 ± 3.0	38.1 ± 3.3	56.6 ± 1.2	49.7 ± 0.9	15.0 ± 0.2
冬実	122 ± 3.0	51.5 ± 2.4	57.0 ± 0.7	48.7 ± 0.7	15.1 ± 0.1

(平均値 ± 標準誤差)

表 4 定植ポットの素材並びに栽植間隔がパッションフルーツの果実に及ぼす影響 (2009 年)

素材	栽植間隔 (cm)	受粉後日数 (日)	重量 (g)	果実径 (mm)		糖度 (度)
				縦径	横径	
夏実						
不織布	25	69 ± 4.9	43.7 ± 3.9	55.8 ± 2.6	51.4 ± 0.8	15.5 ± 0.1
不織布	50	74 ± 5.6	32.8 ± 7.6	56.6 ± 1.7	47.9 ± 2.5	14.3 ± 0.3
不織布	100	80 ± 6.3	38.7 ± 8.0	56.4 ± 2.2	49.6 ± 1.5	15.1 ± 0.2
ポリエチレン	50	64	29.2	60.6	49.4	14.8
冬実						
不織布	25	119 ± 4.8	51.2 ± 2.7	57.6 ± 0.7	48.5 ± 0.8	15.1 ± 0.1
不織布	50	127 ± 4.9	54.4 ± 5.2	57.6 ± 1.3	49.8 ± 1.4	15.1 ± 0.2
不織布	100	122	64.1	60.2	51.3	15.6
ポリエチレン	50	122 ± 2.8	41.3 ± 7.7	51.9 ± 2.7	45.6 ± 3.2	15.3 ± 0.3

(平均値 ± 標準誤差)

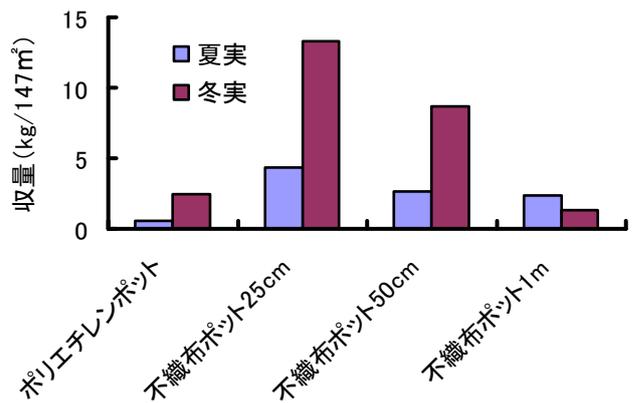


図 13. 定植ポットの素材並びに栽植間隔がパッションフルーツの収量性に及ぼす影響 (2009 年)

*147 m²、1 ライン 12m × 5 ラインで算出

2010 年についてもパッションフルーツのみを用いて、遮根する面の異なる不織布ポットを用いて、根域制限の度合の違いによる影響を調査した。また、加えて定植年数による影響も調査した。

新梢生長は、全面遮根型が最も生長した。しかし、定植後 2 年目の生長は 1 年目よりも悪い結果となった(表 5)。SPAD 値は遮根する面の違いでは変わりはない。しかし、定植後 2 年目では 1 年目よりも低く推移した(図 14)。冬実収穫後行なった生長量調査では、地下部で側面遮根型、底面遮根型で貫通根がみられ、中太根は側面遮根型が良く生長していた。地上部では全面遮根型、側面遮根型の間に差がなく、底面遮根型の生長が悪かった。また、地下部の生長が地上部と同様に、定植 2 年目で悪い結果となった(表 6)。葉一枚当りの葉面積は、全面遮根型が最も大きくなった。しかし、定植 2 年目は 1 年目よりも小さくなった(図 15)。

表 5 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツの新梢生長に及ぼす影響 (2010 年)

	新梢長 (cm)		新梢生長量* (cm)
	5月25日	1月12日	
全面遮根型	50.5 ± 6	629.1 ± 51	578.5 ± 51
側面遮根型	50.7 ± 6	599.5 ± 43	548.8 ± 40
底面遮根型	57.0 ± 5	564.5 ± 21	507.5 ± 22
全面遮根型2年目	37.5 ± 4	391.7 ± 65	354.1 ± 65

(平均値 ± 標準誤差)

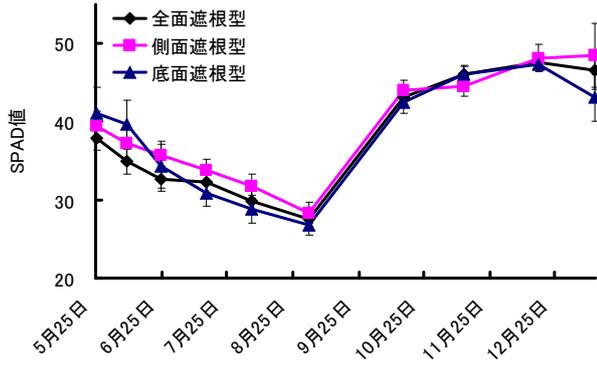
*新梢生長量 = 1月12日新梢長 - 5月25日新梢長の値とした。

表 6 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツの生長量 (乾物重) に及ぼす影響 (2010 年)

	地下部 (gDw)			地上部 (gDw)	
	貫通根	細根	中太根	葉	茎
全面遮根型	0.0 ± 0.0	3.7 ± 0.7	2.1 ± 0.2	46.4 ± 7.5	38.9 ± 5.6
側面遮根型	0.3 ± 0.2	4.9 ± 0.7	4.4 ± 1.8	37.8 ± 6.9	43.1 ± 5.0
底面遮根型	0.4 ± 0.1	4.2 ± 0.5	2.0 ± 0.6	32.8 ± 0.6	32.4 ± 0.9
全面遮根型2年目	0.1 ± 0.1	2.2 ± 0.5	0.9 ± 0.3	35.5 ± 3.2	37.2 ± 2.4

(平均値 ± 標準誤差)

○遮根面



○定植年数

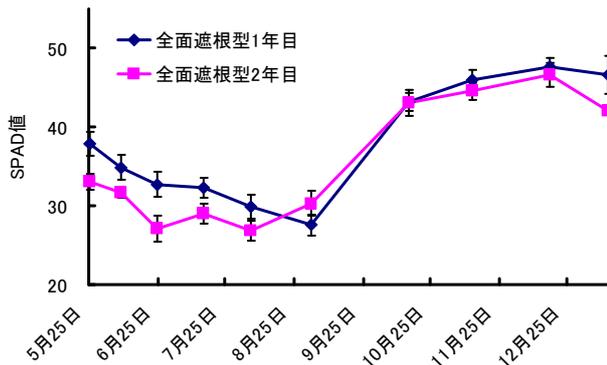


図 14. 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツ葉の SPAD 値に及ぼす影響 (2010 年)

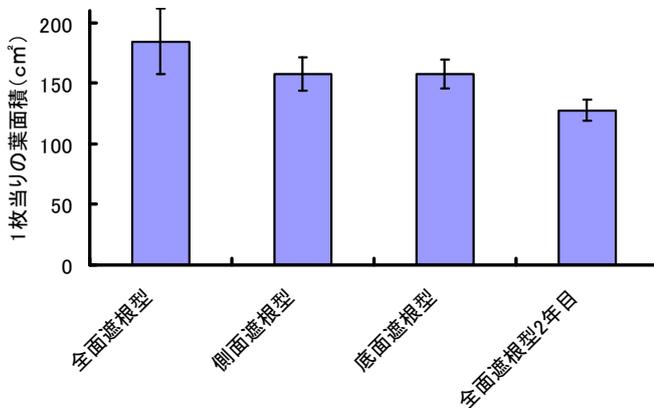


図 15. 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツの葉面積に及ぼす影響 (2010 年)

遮根面が異なる不織布ポットごとで比較したところ、夏実では縦径で底面遮根型が最も良かったが、他の項目には差がみられなかった。冬実では全面遮根型、側面遮根型のすべての項目で差が無かった。しかし、底面遮根型では生育日数は 86 日と短期間であったものの、重量、果実径は小さく、糖度も 15.3 度と他の区よりも低くなった。定植年数で比べると、夏実および冬実ともに定植 2 年目で生育日数が長くなった。夏実ではいずれの項目でも、冬実では果

実重量および糖度で定植 1 年目のの方が良い結果を得られた (表 7)。

表 7 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツの果実に及ぼす影響 (2010 年)

	受粉後日数 (日)	重量 (g)	果実径		糖度 (度)
			縦径(mm)	横径(mm)	
夏実					
全面遮根型	66.6 ± 2.5	44.8 ± 2.9	57.2 ± 0.4	51.3 ± 0.8	15.2 ± 0.5
側面遮根型	68.3 ± 2.3	44.1 ± 4.8	57.5 ± 1.1	49.7 ± 1.1	15.6 ± 0.3
底面遮根型	66.6 ± 0.9	46.0 ± 2.6	59.1 ± 0.9	51.3 ± 0.6	14.7 ± 0.6
全面遮根型2年目	75.1 ± 2.2	37.7 ± 3.8	54.9 ± 1.0	46.4 ± 1.0	14.7 ± 0.3
冬実					
全面遮根型	92.3 ± 3.0	98.5 ± 9.9	67.8 ± 3.1	59.3 ± 2.4	16.9 ± 0.5
側面遮根型	97.0 ± 3.0	96.4 ± 4.6	63.2 ± 1.8	60.4 ± 0.4	16.1 ± 1.1
底面遮根型	86.0	80.0	54.4	54.4	15.3
全面遮根型2年目	98.4 ± 2.0	65.4 ± 13.4	58.4 ± 1.0	58.4 ± 2.3	16.2 ± 0.2

(平均値 ± 標準誤差)

スターフルーツおよびマンゴーは、2009 年から作業性の向上のため、低段ベンチでコンテナを使用した養液土耕栽培を実施した。温室内では花粉媒介虫の飛翔が少なく、受粉が難しい。そこで振動受粉機や筆を用いて受粉を行った。スターフルーツは低段ベンチへの移動時に、茎葉を傷めたことから、開花が遅れ、果実着果が認められなかった。しかし、マンゴーは果実着果が少なかったものの収穫することが出来た (図 16)。

2010 年のスターフルーツは、9 月中旬から開花が始まり、振動受粉機を用いて受粉を行った結果、1 月下旬から果実の着果は少ないものの、収穫することが出来た (図 17)。マンゴーは振動受粉機や筆又は手作業で受粉を行ったが開花時期が 2011 年 3 月であったことから、停電や低温等のため、受粉が上手くいかなかった (図 18)。しかし、前年度同様、果実着果が少なかったものの収穫することが出来た。



図 16. 収穫時のマンゴー (2010 年 9 月 7 日)



図 17. 収穫時のスターフルーツ (2011 年 3 月 3 日)



2011 年 3 月時点での
生育状況

マンゴーの蕾



図 18. マンゴーの 3 月時点の生育状況
(2011 年 3 月 3 日)

4. 考察

最初にまず、加温ハウス下での養液栽培システムを利用し、熱帯果樹の樹体生長並びに着果から果実生産の可能性について検討を行った。いずれの熱帯果樹も初期生育から良好な生育経過を示した。パッションフルーツは 8 月上旬～ 9 月下旬 (夏実)、1 月上旬～ 2 月下旬 (冬実) の年 2 回収穫が可能であり、収穫量や品質の面からも加温ハウス下での養液土耕栽培に向くと考えられた。また、受粉が難しく果実着果が少ないものの、スターフルーツが 1 月下旬～ 3 月上旬、マンゴーについても 8 月中下旬に収穫が可能であったことから、受粉方法を改善すればこれらの果実の栽培も可能と考えられた。

パッションフルーツに重点をおいて、定植ポットの素材並びに栽植間隔の違いによる影響を調査するため栽培試験を実施した。果実品質や収量性から実用性について検討を行った結果、ポット材質ではポリエチレンポットよりも、不織布ポットが良く、栽植間隔は 25 cm が最も良いと考えられた。不織布ポ

ットの異なる面を遮根することで、根域制限の強さを変えてみたところ、側面遮根型および底面遮根型の不織布ポットは、ポット外に貫通根がみられ、それに伴い地下部が発達していた。それに対して、より根域制限の度合いが強い全面遮根型の不織布ポットでは、地下部より地上部の発達が優先され、そのため高い生産効率につながったと考えられた。新梢長等の樹体の生長量や果実の品質面が定植 2 年目で良い結果が得られなかったことから、1 年ごとに植え替える方法が有効であると考えられた。しかし、2010 年の試験では定植 2 年目の整枝・剪定時期が 4 月後半と遅れたことが、新梢生長に影響を及ぼし、その結果、新梢や果実等の生育成長で良い結果が得られなかった可能性も考えられた。花芽分化が開始する 2 月中には整枝・剪定を済ませ、新梢生長の促進を図り、葉面積の広い葉を確保することで、果実を確保できるかもしれない。そのため、定植年数については、今後も検討を続けたい。

いずれの熱帯果樹類も定植後の苗木の初期生育が良好であることから、他の温帯性果樹類の大苗生産などにも利用が広げられる可能性もあり、今回用いた栽培技術が応用できると考えられた。

5. 謝辞

本試験を遂行するに際して、筑波大学生命環境系・弦間 洋教授、菅谷純子准教授、筑波大学農林技術センター技術室技術職員・伊藤睦氏、吉田勝弘氏、松岡瑞樹氏、2011 年 3 月に卒業した筑波大学生物資源学類・中根真理さんにご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

紫外領域から赤外領域の写真撮影について

鷺野谷秀夫

筑波大学体育芸術系支援室

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

肉眼では観察しえない赤外線・紫外線画像を一眼レフデジタルカメラで同一被写体を撮影し、その不可視画像と通常撮影による画像を合成して、360 nm から 720 nm の広い波長範囲を持った画像を制作した。その撮影により得られた画像と肉眼による通常画像を比較検討した。

1. はじめに

一般に紫外線写真とは、約 360 nm の近紫外線波長の光で撮影する写真であり、赤外線写真は、約 600 nm から 900 nm の赤外線波長の光で撮影する写真である。肉眼は、約 400 nm から 600 nm の光を網膜の錐状体細胞で感じて脳で判断している。そのため、紫外線や赤外線を人間が感じることは不可能である。しかし、写真用フィルムやデジタルカメラに使用されている CCD は、紫外域や赤外域にも感度を持っているため不可視光撮影することが可能である。我々は以前に、紫外線写真・赤外線写真を個々にデジタルカメラで撮影し、報告してきた。今回は、それらの不可視光画像と通常の画像を合成し、一枚の画像を制作したので報告する。

2. 撮影に使用したカメラとレンズ

カメラは、紫外線撮影と赤外線撮影のデジタルカメラに使用したニコンデジタルカメラ D70 ボディを使用した。(図 1) 通常の一見レフデジタルカメラは、偽色やモアレを低減させる目的で、ローパスフィルターを使用しているため、通常撮影には有害な紫外線や赤外線をカットしている。しかし、ニコンデジタルカメラ D70 は、ローパスフィルターを使用していないため、不可視光撮影に向いている。

レンズは、紫外線撮影用レンズ・ニコン UV ニッコール 105 mm レンズ F4.5 を用いた。

図 2 は、今回使用したフィルターである。左上のフィルターは、720 nm 以上の赤外線を透過して、可視光をカットするケンコー製赤外線透過可視光吸収フィルターである。右上のフィルターは、360 nm にピークを持つ紫外線を透過して、可視光をカットするケンコー製紫外線透過可視光吸収フィルターである。この両方のフィルターは、可視光をほぼ完全にカットしているため、肉眼でピント合わせをすることができない。そのため、可視光撮影をした後にフィルターをして、ファインダーを使用せず撮影した。

左下のフィルターは、550 nm にピークを持つ緑色の BPN-55 フィルターである。右下のフィルターは、600 nm 以上の赤色および、赤外線を撮影するシャープカットフィルターである。



図 1. 使用したカメラとレンズ



図 2. 使用したフィルター

3. 撮影法と画像の合成

撮影は、カメラを三脚に固定し、同一被写体を、可視光撮影、緑色のフィルター撮影、そして紫外線撮影と赤外線撮影の順に撮影を行った。撮影は、すべて露出が異なるため、シャッタースピードの調整で撮影を行った。デジタルカメラでの設定は、ISO 感度を 800 で設定し、ホワイトバランスは太陽光に設定した。

合成は、パソコンで Adobe Photoshop CS4 のソフトを用いて行った。

4. 結果

図 3 は、通常の写真用レフランプで撮影した The Macthett ColorChecker である。このカラーチャートは、可視光の色彩を調整するためのものであり、紫外線や赤外線に対応することは考えにくい、一定の基準を観察するために使用した。

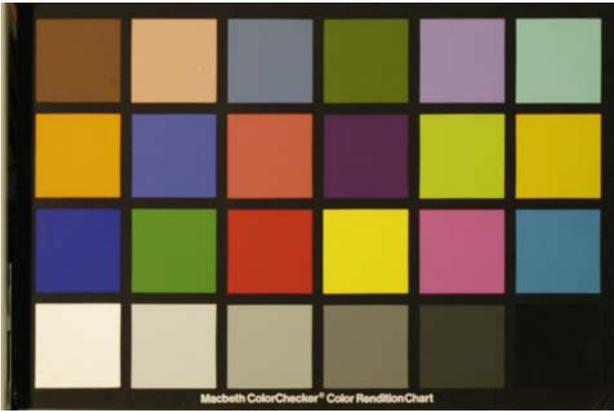


図 3. The Macbeth ColorChecker

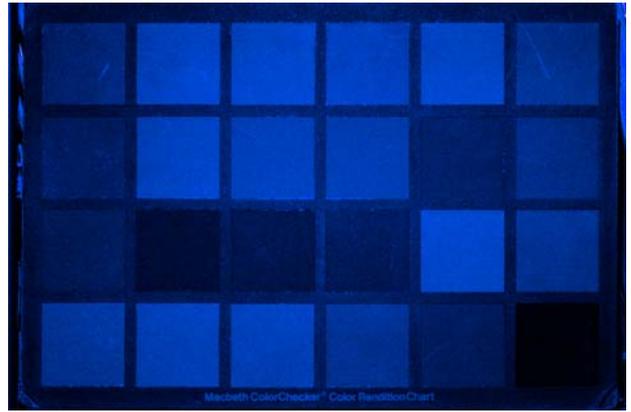


図 7. 画像処理した紫外線画像

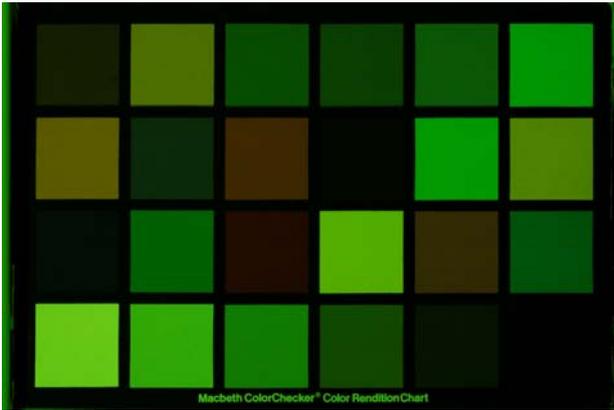


図 4. 530 nm にピークを持つ緑色の画像

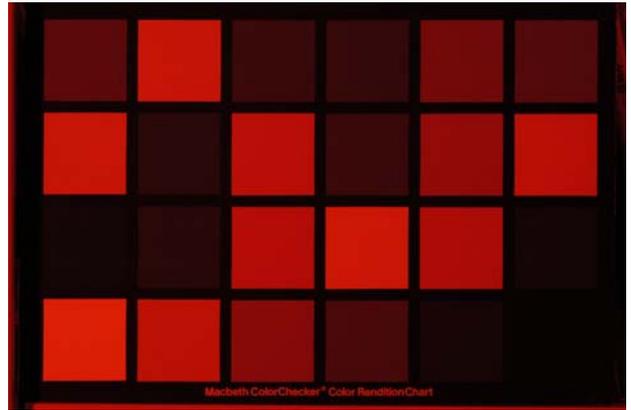


図 8. 600 nm のフィルターで撮影した画像

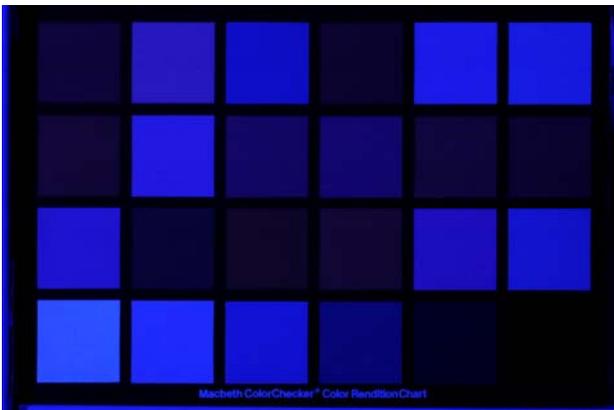


図 5. 450 nm にピークを持つ青色の画像

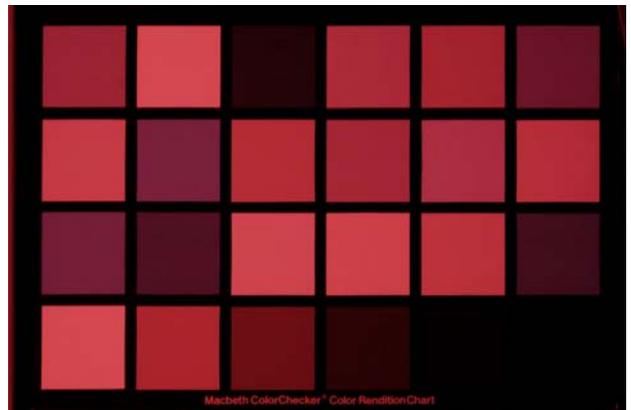


図 9. 720 nm のフィルターで撮影した赤外線写真



図 6. 360 nm にピークを持つ紫外線画像



図 10. 三枚の写真を合成した画像

図 4 は、530 nm にピークを持つバンドパスフィルターで撮影した緑色の画像である。このフィルターは、主にモノクロ撮影で赤を強調するために使用される三色分解フィルターである。

図 5 は、450 nm にピークを持つ三色分解フィルターで、可視光の青色の画像である。

図 6 は、360 nm にピークを持つ紫外線画像である。撮影は、サンパック製の紫外線ストロボを用い、レンズにも 360 nm にピークを持つ紫外線フィルターを使用して撮影した。

図 7 は、図 6 の紫色の画像を、Adobe Photoshop CS4 を用いて、三色分解フィルターの青と同様な色彩に変換した画像処理像である。図 5 の 450 nm にピークを持つ青色の画像と比較すると、各色彩の資料は、各種異なった濃度を示し、紫外線写真の特徴を示している。

図 8 は、600 nm のシャープカットフィルターで撮影した画像である。このフィルターは、赤外線撮影ではなく、主にモノクロ撮影や三色分解フィルターとして使用されている。

図 9 は、720 nm の赤外線用フィルターを用いて撮影した赤外線写真である。図 8 の 600 nm の画像と比較すると、各種の色彩資料は、各種異なった濃度を示し、赤外線写真の特徴を示している。

図 10 は、図 4 の緑色の画像と、図 7 の青色に画像処理した紫外線画像、そして、図 9 の赤い赤外線画像を Adobe Photoshop CS4 を用いて、合成した画像である。この画像と、図 3 の可視光撮影による画像と比較すると、各種資料は、特異な色彩を示している。



図 11. 通常の風景写真

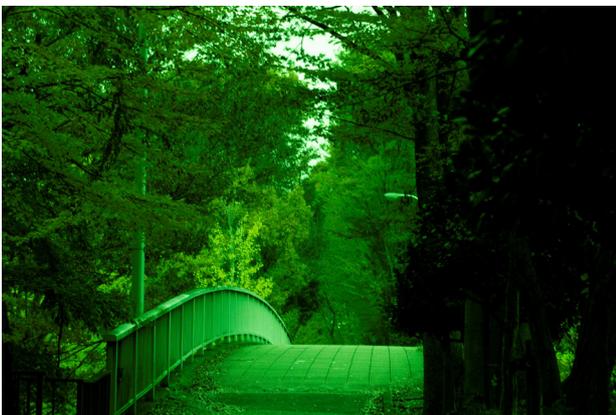


図 12. 530 nm にピークを持つ緑色の画像



図 13. 360 nm にピークを持つ紫外線画像



図 14. 画像処理した紫外線画像



図 15. 720 nm のフィルターで撮影した赤外線写真

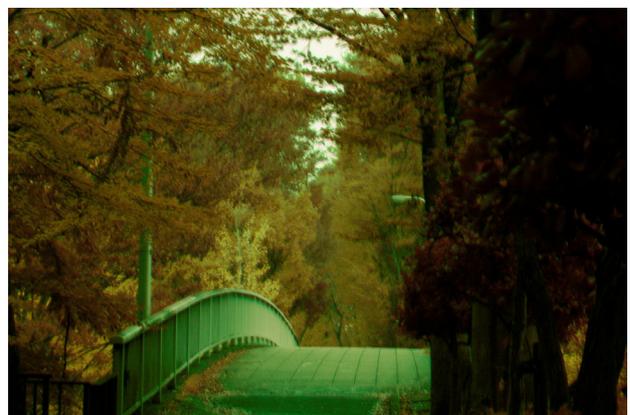


図 16. 三波長の写真を合成した画像

図 11 は、通常撮影した風景写真である。

図 12 は、530 nm にピークを持つバンドパスフィルターで撮影した緑色の画像である。

図 13 は、紫外線画像である。撮影は、360 nm にピークを持つ紫外線フィルターを使用して、太陽光で紫外線撮影を行った。

図 14 は、図 13 の紫色の画像を、Adobe Photoshop CS4 を用いて、三色分解フィルターの青色と同様な色彩に変換した画像処理像である。

図 15 は、720 nm の赤外線用フィルターを用いて撮影した赤外線写真である。撮影光源は、紫外線撮影と同様に太陽光で行った。

図 16 は、図 12 の緑色の画像と、図 14 の青色に画像処理した紫外線画像、そして、図 15 の赤い赤外線画像を Adobe Photoshop CS4 を用いて、合成した画像である。

図 11 の通常の風景写真と、図 16 の紫外・赤外合成画像を比較すると、光の当たっていない木の影の葉などが、赤外線写真の特徴により、より詳細に表現されている。

5. 考察

人間が観察できる光の波長は、約 400 nm から 600 nm である。色彩は、この波長の中にあり、400 nm は青色、500 nm は緑色、600 nm は赤色を示し、その間に黄色や紫色、茶色やオレンジ色など、数多くの色彩を視覚として感じることができる。しかし紫外線の波長範囲は、約 400 nm から 1 nm と広く、380 nm から 200 nm を近紫外線、200 nm から 10 nm を遠紫外線、10 nm 以下を極端紫外線と呼んでいる。また赤外線も、約 700 nm から 1 mm と波長範囲は広く、同様に近赤外線、中赤外線、遠赤外線に分類されている。今回の撮影は、近紫外線と近赤外線の波長を利用した。

紫外線撮影や赤外線撮影は、肉眼では観察できない不可視光の撮影のため、常識では説明のつかない不思議な世界を撮影することができる。例えば蝶などの昆虫は、紫外線を見ているという理論があり、花や昆虫を紫外線撮影してみると、肉眼とは異なった画像を示し、不思議な世界を撮影することができる。また、赤外線撮影においても、物質の差により反射吸収が異なるため、航空写真の地表撮影や古美術の分析などに用いられていた。

カメラのフィルムやデジタルカメラに使用されている CCD や CMOS センサーは、紫外域や赤外域に感度があるため、紫外線撮影や赤外線撮影をすることが可能である。私は以前の報告で、デジタルカメラによる紫外線撮影法の開発^[1]とデジタルカメラによる赤外線撮影^[2]を報告した。今回は、それらの撮影の特徴を一枚の画像として表現した実験である。

図 17 は、通常フィルムの分光吸収曲線である。このように、通常フィルムによるカラー撮影は、青色、緑色、赤色の三原色を利用した表現であり、それらの色を合成することにより、多くの色彩を表現している。図 18 は、紫外線と赤外線、緑色の可視光線を合成した画像の分光吸収曲線である。今回の実験は、紫外線を青色、可視光線を緑色、赤外線を赤色として合成して、疑似カラー化したものである。

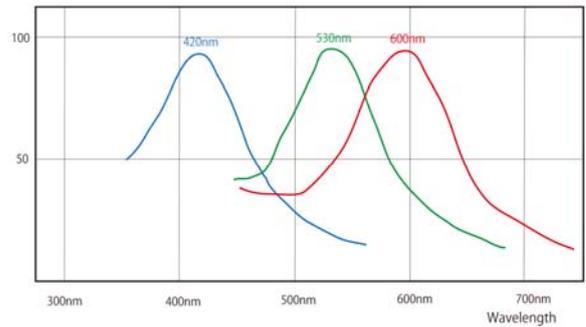


図 17. カラーフィルムの分光吸収曲線

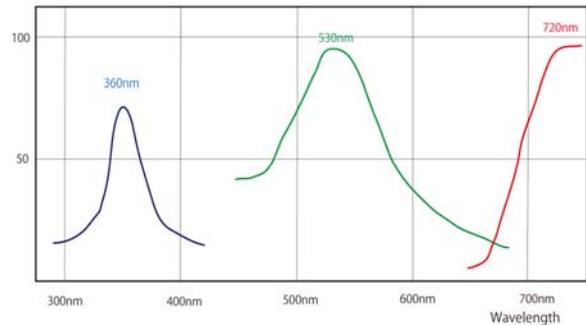


図 18. 紫外・赤外合成画像の分光吸収曲線

6. まとめ

今回、360 nm にピークを持つ紫外線画像と、530 nm にピークを持つ緑色の可視光画像、そして 720 nm 以上の赤外線画像を撮影し、Adobe Photoshop CS4 を用いて合成した。その結果、通常の撮影画像とは異なり、特異な画像が得られた。

今後、多くの撮影分野に応用すれば、通常写真では得られない情報が得られ、多くの新知見が得られるものと確信する。

参考文献

- [1] 鷺野谷秀夫：デジタルカメラによる紫外線撮影法の開発，筑波大学技術報告 No.26, 30-33, 2006.
- [2] 鷺野谷秀夫：デジタルカメラによる赤外線撮影，筑波大学技術報告 No.28, 45-50, 2008.



図 19. 蘭の紫外・赤外合成写真



図 20. 蘭の通常写真



図 21. ポインセチアの通常写真

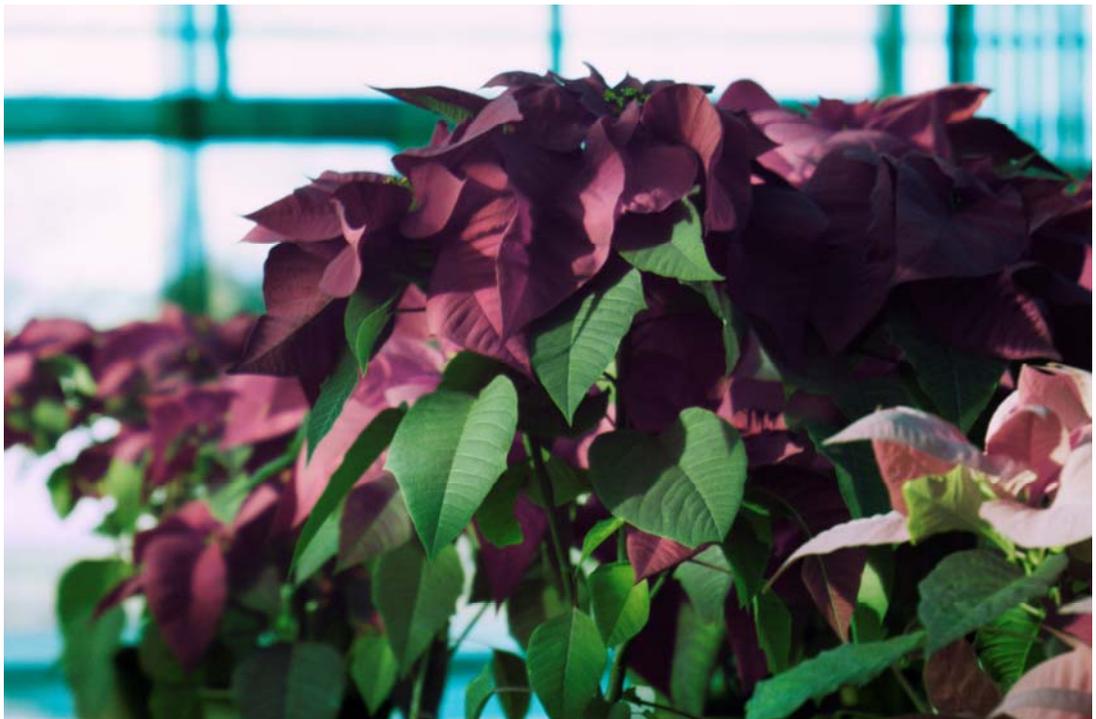


図 22. ポインセチアの紫外・赤外合成写真

Photography from ultraviolet to infrared

Hideo Saginoya

Academic Service Office for Art and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki,
305-8573 Japan

Images of the same objects were taken in the infrared to ultraviolet ranges, which are invisible to the naked eye, using a digital single-lens reflex camera. Images of the non-visible spectrum and images taken normally were combined to produce images at a range of wavelengths from 360 nm to 720 nm. Images obtained by non-visible imaging and images taken normally were compared.

イメージの浮遊を志向した飛行船の制作

林 剛人丸

筑波大学体育芸術系支援室（芸術系工房）

〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

平成 20 年から 21 年にかけて制作した GO FLIGHT AIRSHIP は、気嚢部に映像を投影することが可能な飛行船型の作品である。本稿ではその制作について報告する。

キーワード：飛行船、現代美術、映像、浮遊

1. はじめに

航空機が目覚ましい進歩を遂げてからの時代にあつて、我々は経験から飛行機やヘリコプター等が空を飛んでいる様子を想い浮かべることができる。また、新しく示される理論やアイデアに未だ見たことのない飛行形態や航空機を想像することもできる。それらは我々の意識の中にあり、それぞれ過去の飛行と未来の飛行といった趣である。

或いは、我々は空港や飛行場に出かけて降り立って飛び立つ飛行機を目撃することができる。この

ような時に立ち上がる「ゆったりと飛んでいるように見える」「背景との対比が美しい」「空気を切り裂くような直進」といった感覚は、どんなに具体的に思い描いた意識下にある飛行とも異なって、眼前に飛行があることを直感させる。

飛行を人との関係において考えるとき、例示したような意識下にある飛行も眼前にある飛行も、どちらも飛行である。また、理論や技術だけではなく、飛行によって我々の心に立ち上がる感覚も、飛行のエレメントと言えるのではないだろうか。

このような視座から、私は《今そこに見えていること》と《意識の中にあること》を組み替えたり変調することで、飛行・滑空・浮遊といった事柄を浮かびあがらせる美術作品を制作している。報告する作品 GO FLIGHT AIRSHIP は「夜空に青空を浮かべる」ことをコンセプトに、船体に空のビジュアルイメージを投影する飛行船型の作品である。



図 1. GO FLIGHT AIRSHIP 展示風景（福島県喜多方市岩月夢想館）

2. 船体の概要

空中にビジュアルイメージを浮かべる際のインパクトを考慮して、船体の長さを 5.5 m 以上と設定した。

屋外で係留展示する場合には気象の変化にある程度耐用しなければならない。また、次段階で屋内飛行するにあたっては駆動系を搭載することが必要になることを考慮して、ペイロードを 15 kg とし仕様を以下のようにまとめた。

船体の全長：5.5 m 以上

ペイロード：15 kg 程度

搭載機器：画像投影機器、画像配信機器、冷却装置

付帯物：係留索、配電ケーブル

3. 船体の設計

3.1 画像投影系

投影された映像を球形に全周囲投影する方法は、映像産業やバーチャルリアリティ等の分野で、発光体である LED を用いた方式、特殊な広角レンズで広い視野領域に映像を投影する方式、複数のプロジェクターで投影する方式など多くの研究・開発がなされている。GO FLIGHT AIRSHIP では単一のプロジェクターによる投影画像を球面鏡に反射投影させ、エンベロープの膜を透過した画像を観視する方式を採用した。このディスプレイ法は軽量化に適しており、ピントフリーであるメリットを持ち、コスト面でも有利である。一方で、輝度やコントラストが得にくい、結像した画像が若干不明瞭になる等のデメリットがある。

輝度とコントラストの対策として高輝度出力のプロジェクターが望まれるが、一般に高輝度になるほど重量が増す傾向にあり、飛行船が希求するより軽量であることと相反する。比較検討により、5000 lm の光束を持つ 3LCD 方式の EPSON 社 EB-G5350 を採用した。球面鏡は樹脂製の直径 450 mm、平面鏡はガラス製の 200×200 mm とし、投影系機材の重量は約 7.8 kg となった。

画像投影の構成概念を図 2 に示す。

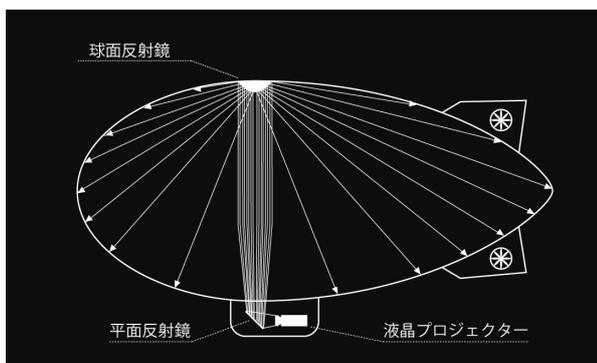


図 2. 画像投影構成イメージ

3.2 エンベロープの設計

エンベロープの設計においては、The NPL low drag airship body shape^[1] に代表される一般的な飛行船の形状を参考にしながら、投影する画像の歪みに配慮して側面形状を決定した。材料には 0.14 mm 厚の塩化ビニールシートを採用した。このシートは広告用アドバルーンに広く採用されているもので、汎用シートに比べ気密性が高い。

軟質塩化ビニールの比重 1.3 kg から算出して、エンベロープの全長 5800 mm、全高 2700 mm のとき、エンベロープの表面積は 40.5 m² で重量は 7.3 kg となる。エンベロープの容積はシートの伸び分を考慮して 25.8 m³ と推定した。気温 25 °C におけるヘリウムガス 1 m³ あたりの浮力を 1.032 kg とすると、浮力の計算値は 26.6 kg と算出された。

使用するシートが 1 m 幅であることからエンベロープを10の部材で分割構成し、シクロヘキサノンを用いた溶着により接合した。プロジェクション画像の透過性実験を経て乳白色を選定し、エンベロープ下部には映像が透過するアクリル製の窓を設けた。アクリル窓を含めたエンベロープの重量は 7.7 kg となった。

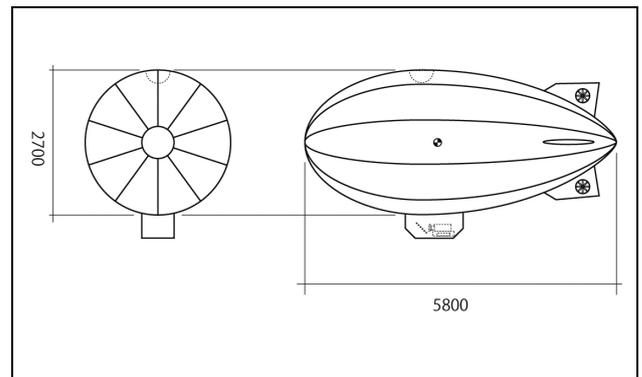


図 3. 設計概略

3.3 ゴンドラとフィン

ゴンドラには投影系を搭載して、プロジェクターを移動調整できるよう 540×880×400 mm とした。プロジェクターはハロゲンランプを採用しており、オーバーヒート防止のため内蔵されている空冷ファンにより排気・冷却を行なっている。ゴンドラ内部の温度が適正に保たれるよう各側面には通気口と小型ファンを設置し、プロジェクターの排気口からダクトを延長し直接外気に放出できるよう配慮した。

軽量化と剛性を両立させるため、ゴンドラおよびフィンの材料には発泡ポリプロピレン (EPP) を用いた。この素材は発泡性のスチロールやポリエチレンに比べて重量は増すが、曲げ強度において優れている。ゴンドラ・フィンともにポリエチレンシートを貼布して表面を保護した。ゴンドラ部の内部には

アルミニウム材フレームを組み込み、底面および外側のエッジ部分には FRP 補強を施した。ゴンドラに冷却ファンを装着し実測したところ、フィン合計重量は 4.7 g となった。

4. 投影画像の作成

球面反射により投影される画像は中心部がエンベロープ下部に、端部ほどエンベロープ上側中心に投影されることになる。

空を撮影した縦横比 $1:\pi$ の静止画像を、下辺の中点を中心とした円形に加工する。さらにコントラストや色味や明るさ等を調整し、球形に投影したときに適正となるよう画像の歪みを補正して原画とする。(図 4、図 5) この原画を元に、空の色合いの変化、平行/回転移動、ズームイン/ズームアウト等のモーションを持たせたアニメーションを作成し、実物大のエンベロープ模型に投影して調整を行なった。最終的に 18 のシーンを繋いで編集し、およそ 12 min の動画に編集した。

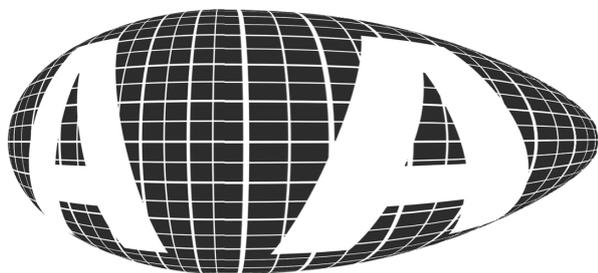
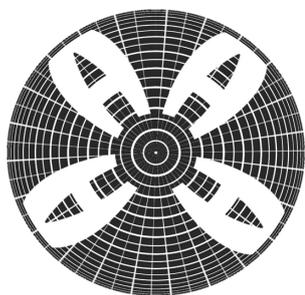


図 4. 画像イメージ

- 4-1 (上) 原画
- 4-2 (中) 加工・補正した画像
- 4-3 (下) 気囊に投影された画像のイメージ

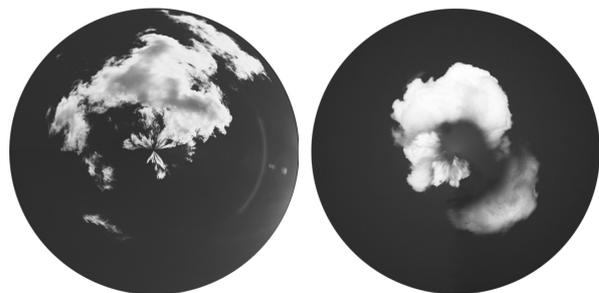


図 5. 投影画像イメージ

5. まとめと今後の展望

球面鏡を用いた反射投影を採用することで、イメージを空に浮かべる飛行船を完成させることができた。作品は新潟県十日町市で開催された越後妻有トリエンナーレ 2009 第 4 回大地の芸術祭の出展作品として展示したのをはじめ、各地で開催された展覧会に出展した。(図 1、図 6) また本稿と同様の報告を日本航空宇宙学会主催の第 16 回スカイスポーツシンポジウムにて行った。

最終的なペイロードは 14.5 kg であり、要求された次段階で目指す屋内での飛行に必要な駆動系の搭載が可能な値を達成している。街中での展示では画像の輝度やコントラストが低く感じられ、空というモチーフに対して船体のスケールは必ずしも充分ではないとの印象がある。展示空間を屋内に設定することにより、周囲の明るさを調整管理することが可能になり、空間の状況によってサイズの印象も相対的に変わるものと考えられる。幸いに平成 22 年度科学研究費補助金奨励研究としてリモートセンシングについての研究の機会を得て、現在屋内用リモートコントロールシステムを開発中であるので、改めて別の機会に報告させていただきたい。

また、さらなる展開として、映像出力の方式の見直しや、スクリーンの役割を果たしているエンベロープの素材の変更を視野に入れ、高輝度で大型の飛行船開発が考えられる。その実現により屋外での飛行展示が可能になり、よりインパクトのあるイメージの浮遊を達成できるのではないかと期待している。



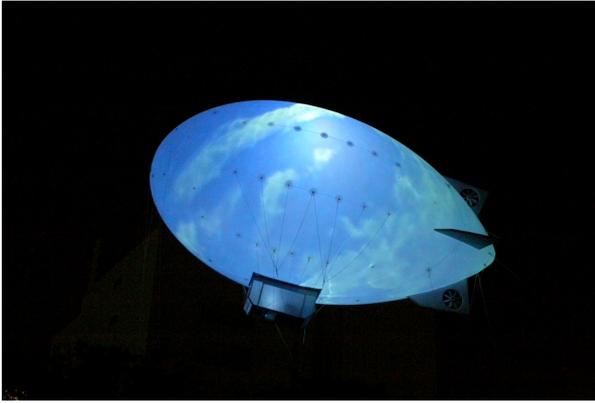


図 6. 映像が投影されている状態

参考文献

- [1] 橋本渉, 岩田洋夫, 凸面鏡を用いた球面没入型ディスプレイ: Ensphered Visio, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.4 No.3 (1999) 479-486
- [2] 林隆伯, 矢野博明, 岩田洋夫, 球面没入型ディスプレイの画質改善, 日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集 (2004) 357-360
- [3] Khoury, G.A. and Gillett, J.D., eds., Airship Technology, Cambridge Aerospace Series #10, (199

Information for authors of the technical report of University of Tsukuba

Gojing-Maru HAYASHI^{a)},

^{a)}Art and Design Workshop, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574 Japan

GO FLIGHT AIRSHIP is a work of art by this writer. It is an airship designed intending images to be floated in the air, and its mission is to float blue sky on night sky. This reports whether it was achieved by what idea and the mechanism.

Keywords: blimp, airship, art, float image,

温暖化実験装置についての報告

金井 隆治、正木 大祐

筑波大学生命環境科学等技術室（菅平高原実験センター）

〒386-2204 長野県上田市菅平高原 1278-294

概要

2010 年秋に中央アルプスの信州大学西駒演習林に設置した Open Top Chamber 方式の温暖化実験装置（天井が開いた透明な箱、以下 OTC）のメンテナンスを 7 月と 9 月の 2 回行った。積雪による被害でいくつかの OTC が破損し、温度ロガー等も被害を受けた。積雪の被害を最小限に抑えるため、OTC の改良を行った。また、菅平高原実験センター内のススキ草原にも 5 基の OTC を設置した。

キーワード：地球温暖化、オープントップチャンバー、野外操作実験、森林限界

1. はじめに

2010 年度、筑波大学・信州大学・岐阜大学を中心とする中部山岳大学間連携事業が行っている温暖化実験で使用する OTC (105 × 105 × 210 cm) を開発・設置した（図 1）。実験地は中央アルプス将基ノ頭直下にある信州大学アルプス圏フィールド教育研究センター西駒ステーション内の標高 2500 m から 2600 m の山岳森林限界周辺である。



図 1. 西駒演習林に設置した OTC

設置した OTC には一年中波板を取り付けておく通年温暖用（5 基）と積雪期は波板を取り外してしまふ夏季温暖用（5 基）の二種類がある。2010 年 9 月下旬に設置したため、夏季温暖用の OTC には融雪次第波板を取り付ける必要があった、また積雪による OTC や観測機器への影響も確認する必要があった。このため 7 月上旬に一度実験地に向かった。さらに 9 月下旬には二度目の冬に向けた準備のために実験地に向かった。

菅平高原実験センター内ススキ草原に設置した OTC は 5 基とも通年温暖用であり、こちらは雪によ

る被害はほとんどなく、温度の観測や積雪量の観測が順調に行われた。

積雪による被害の状況とその対策について、また温暖化装置の効果について報告する。

2. 雪による被害

7 月 5 ～ 6 日に OTC の状況確認と夏季温暖用への波板の取り付けのため、著者ら二人で実験地に向かった。

菅平高原実験センター内の 2010 年度の積雪は例年に比べると多めであり、同様に実験地周辺の積雪も多いという情報が寄せられていたため、6 月上旬に実験地に向かう予定であった。しかし実験地の天候が悪く、また参加者の日程調整も上手くいかなかったため、7 月上旬までずれてしまった。さらに先生方が多忙であるため、当センターの技術職員 2 名だけで作業に向かうことになった。

OTC の開発・設置の段階から、雪への知識と経験を活かしていたものの、冬季の実験地の状況は未知であり、OTC への期待と不安の中準備を進めた。

実験地に到着してまず目にした OTC は、少し歪んでいたものと波板の剥げ落ちたものだった。その次に目にした OTC は倒壊していたため、被害の大きさが想像以上であることに大きな衝撃を受けた。しかしながら、すべての OTC を確認していくにつれ、ほぼ無傷の OTC もあることが分かり、雪による被害は一部では予想以上であり、一部では想定内であった。

3. OTC の状況と現場での対応

通年温暖用 OTC は波板が破損（折れる、曲がる）していることを想像していた。しかし、そのような破損は少なく、上部がフレームごと破損した OTC や倒壊した OTC があった。波板がとれていた OTC については、強風が原因であると思われるが、倒壊した OTC は原因が分からなかった。上部が破損した OTC については、表層雪崩の可能性が考えられた。予想外の破損があったものの無傷の OTC が 2 基あり、その耐久性能も証明された。

夏季温暖用 OTC はフレームのみで越冬した。どのような力が加わっているかは分からないが、フレームが全体的に斜面下側にずれていた。また支柱もほぼ沈下（地面に刺さる）していて、アンカー杭（支柱固定用の杭、以下アンカー）がない支柱はより沈下していた。支柱固定用のアンカーであったが、地面が柔らかかったこともあり、十分な効果を発揮している場所は少なかった。場所によってはボルト・ナットが抜け、支柱とアンカーが分離している OTC もあった。

多数設置していた温度ロガーは、温度を安定的に測定するために設置したカバー（以下、ロガーフード）が破損してしまい、その中の温度ロガーも脱落していた。また、その他の観測機器と専用ロガーをつなぐケーブルも切断されていた。

2011年7月のOTC全10基の個々の状況と、それに対する現地での対応は次の通りである。

① 通年温暖用 OTC (全5基)

倒壊1基・一部破損2基・無傷2基

通年温暖用1 (図2)

状況：上部の破損。OTC上部の波板と梁が激しく曲がっていた。同様に下部の波板も歪んでいた。OTCのフレームが斜面下側に少しくずれ、全体的に沈下していた。

対応：何もしない。

通年温暖用2 (図3)

状況：波板一部剥げ。梁脱落。8枚中4枚の波板が剥げ落ちていた。張り綱も切断され、ボルト・ナットが脱落し、梁も落ちていた。フックボルトも一部が脱落しOTC周辺に散乱していた。

対応：実験地に残置してきたフックボルトと、撤去したOTCの波板を使用して修復した。ボルト・ナット・フックボルトを回収し固定し直した。

通年温暖用3 (図4)

状況：ほぼ無傷。全体的に斜面下側へずれていた。アンカーを使用していない支柱の沈下とその他の支柱のわずかな沈下があった。

対応：何もしない。

通年温暖用4 (図5)

状況：ほぼ無傷。全体的に斜面下側へずれていた。アンカーを使用していない支柱の沈下とその他の支柱のわずかな沈下。

対応：何もしない。

通年温暖用5 (図6)

状況：倒壊。支柱が抜けないように固定してあったアンカーごと引き抜かれ倒れていた。張り綱も切断。波板も剥げ落ち、固定用のフックボルトも取れていた。また支柱はねじれていて、ボルト・ナットも脱落し周辺に散乱していた。

対応：実験地での復旧の見込みが無く、登山道を塞ぐ様な形で倒れていたために分解撤去した。部品は実験地に残置した。

② 夏季温暖用 OTC (全5基)

上部破損1基、歪み4基

夏季温暖用1 (図7)

状況：上部が破損。フレームの上部が激しく破損していた。梁も曲り、一部は断裂していた。張り綱も切れ、支柱はすべてが内側に曲がっていた。

対応：破損が大きいため波板は取り付けない。



図2. 通年温暖用1のOTC



図3. 通年温暖用2のOTC



図4. 通年温暖用3のOTC



図5. 通年温暖用4のOTC

夏季温暖用 2 (図 8)

状況：前年度一番初めに設置した OTC で、設置時から歪みがあった。雪によりさらに歪みが大きくなった。

対応：歪みが大きすぎるため波板は取り付けない。

夏季温暖用 3 (図 9)

状況：張り綱切断。フレームが全体的に斜面下側にずれた。アンカーのない支柱が沈下、それ以外の支柱はわずかに沈下。

対応：波板取り付け。張り綱設置。

夏季温暖用 4 (図 10)

状況：フレームが全体的に斜面下側にずれた。アンカーのない支柱の沈下、それ以外の支柱はわずかに沈下。

対応：波板取り付け。

夏季温暖用 5 (図 11)

状況：フレームが全体的に斜面下側へずれた。アンカーのない支柱の沈下、それ以外の支柱はわずかに沈下。

対応：波板取り付け。



図 8. 夏季温暖用 2 の OTC



図 9. 夏季温暖用 3 の OTC



図 6. 通年温暖用 5 の OTC



図 10. 夏季温暖用 4 の OTC



図 7. 夏季温暖用 1 の OTC



図 11. 夏季温暖用 5 の OTC

4. OTC の改良

菅平高原実験センターに戻り、田中助教に状況報告を行い、対策を検討した。9月下旬に調査隊に同行して筆者ら二人も実験地に向かい、更なる補強を行うことが決まった。それまでにボルト・ナットが脱落しないように強固に取り付ける方法、ロガーフードの改良、張り綱の改善を行うこととなった。

4.1 ボルト・ナットの固定

OTC は特に冬季に樹木等が落葉しているため強風にさらされる。そのため波板の上部や縁は風に煽られる。その結果、OTC 全体が振動して、ボルト・ナットが緩んでしまう。その対策としては、ボルト・ナットが緩まないように固定することと、波板をできるだけ隅まで止めることが重要な課題だと考えた。非常に脱落しにくいナットも市販されているが、予算の関係からボルト・ナット用の接着剤ねじロック 243（ヘンケルジャパン、神奈川）を使用することにした。これは、振動のような小さな力への耐久性が非常に高いが、大きな力をかけると取り外しを行うことができるという接着剤で、調整作業も行いやすい。

4.2 ロガーフードの改良

昨年設置したロガーフードは強度不足のため、積雪に耐えることができず、その多くが壊れてしまった。そのため、温度ロガー自体も脱落し、データ回収に支障が出た。データ測定と回収を確実にするために、強度の高いロガーフードを設計することが大きな課題となった。

強度と加工のしやすさから外径 89 mm・内径 77 mm・厚さ 6 mm の塩化ビニール製のパイプを使用し、長さを 156 mm に加工して白く着色した(図 12 左)。これを現地で、長辺が南北の向きになり、ロガーフードの北側が下がるように 35.8 度の角度に設置すれば、温度ロガーは常に日陰に保たれ、安定的に測定が行える(図 12 右)。



図 12. 改良したロガーフード (右側：中には温度ロガー)

4.3 張り綱の改善

張り綱は途中で切断していたものはほとんどなかったが、支柱と接している部分で擦り切れていた。

昨年、使用した 10 mm 幅の張り綱から 15 mm 幅の張り綱に変更し、結び方も工夫することにした。

5. 設置

9月28～30日、信州大学関係者9名と当センターから著者らと田中助教を含む計12名で調査およびメンテナンスのため実験地に向かった。2010年同様に西駒山荘に宿泊して作業を行った。日程と作業内容は次の通りである。

9月28日 天候：晴れ。

2010年同様、桂小場の登山道から入山。信大西駒演習林内の登山道を経て実験地入りした。実験地到着後、簡単な打ち合わせを行い、作業を開始した。

まず、夏季温暖用 OTC の波板の取り外し作業を行った。さらに、植生調査の際に邪魔になるため通年温暖用 OTC の波板も一部を取り外した。

9月29日 天候：晴れのち曇り。

前日に引き続き、通年温暖用 OTC の波板の取り外しから作業を開始した。次にボルト・ナットの固定を行った。OTC の下部はそれほど風の影響を受けないため、上部を中心にすべての OTC でボルト・ナットの締め直しと接着剤の注入を行った。同時にフックボルトの位置も調整し、できるだけ風に煽られないように波板を固定し直した。

植生調査が終了し、新たなロガーとロガーフードが取り付けられた通年温暖用 OTC は順次波板の取り付けを行った。新しいロガーは、ロガーフードと一緒に固定せずに、別々に固定した。これは万が一ロガーフードが脱落してもロガーが残るようにするためである。

上部が破損していた通年温暖用 OTC は、7月に撤去した OTC の部品を利用してできる限り修復した。フレーム上部は歪んだままだが、梁を入れ替えて新たな波板を取り付けた(図 13)。張り綱が切断していた OTC については張り直しを行った。

天候が良かったため、予定していたほとんどの作業を終了させることができた。



図 13. 図 2 の OTC の修復後

9月30日 天候：霧雨。

朝から霧雨の降る天候であったが、メンテナンス作業の確認と実験地に残置する物品の確認と固定を

行った。主な作業は前日までに終了していたため、それほど時間を必要とせずに作業を終了することができた。植生調査隊の作業も終了したので下山を開始した。昼過ぎには無事下山することができた。

6. OTC の温暖化効果

西駒演習林では前述したように設置した温度ロガーは、ロガーフードの破損のために多くが故障していたが、残りの温度ロガーによって OTC の温暖化効果を確認することができた。

冬季：通年温暖用 OTC 内の積雪は OTC 外よりも少ないため、最低気温は OTC 内の方が低くなった。これはおそらく OTC 内は積雪が少ないため、温度ロガーが雪面より上部にあり外気にさらされていたが、OTC 外のロガーは積雪内にあるため周囲の温度が一定となっているからと考えられる（図 14）。

夏季：通年温暖用・夏季温暖用共に OTC 内の方が OTC 外よりも気温がわずかに高い。平均気温で 0.3 °C、最高気温では 3.0 °C、OTC 内の温度が高くなった（図 15）。

菅平高原実験センターススキ草原内に設置している OTC は積雪も比較的少なく、風による影響も少ないため、OTC が破損することもなく、順調に実験が進んでいる。

冬季：西駒演習林と同様で OTC 内の積雪量は少ないが、温度ロガーの高さが 100 cm のため雪に埋もれることはなかった。そのため極端な温度差は観測されなかった（図 16）。

夏季：草丈が温度ロガーの高さを上回り、草に覆われた結果、OTC 内と OTC 外の気温は単純に比較できなかった。気温に差はなかったが、OTC 内は成長速度が速く、草丈も OTC 外より高かった。これは温暖化効果によるものと考えられる（図 17）。

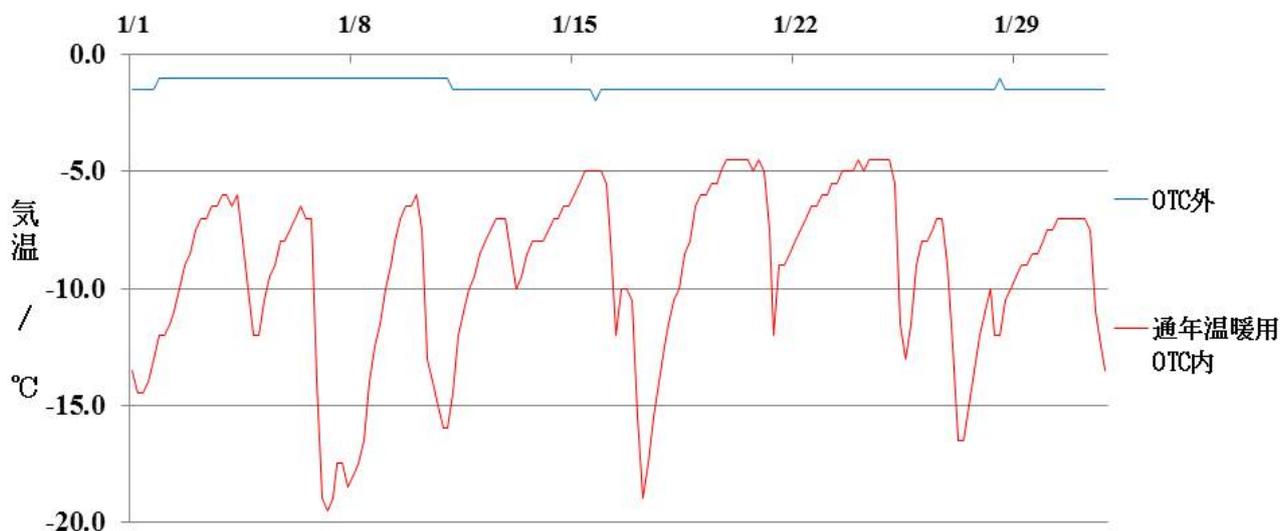


図 14. 西駒演習林 OTC 内と OTC 外の気温（2011 年 1 月 1 日～31 日、高さ 30 cm）

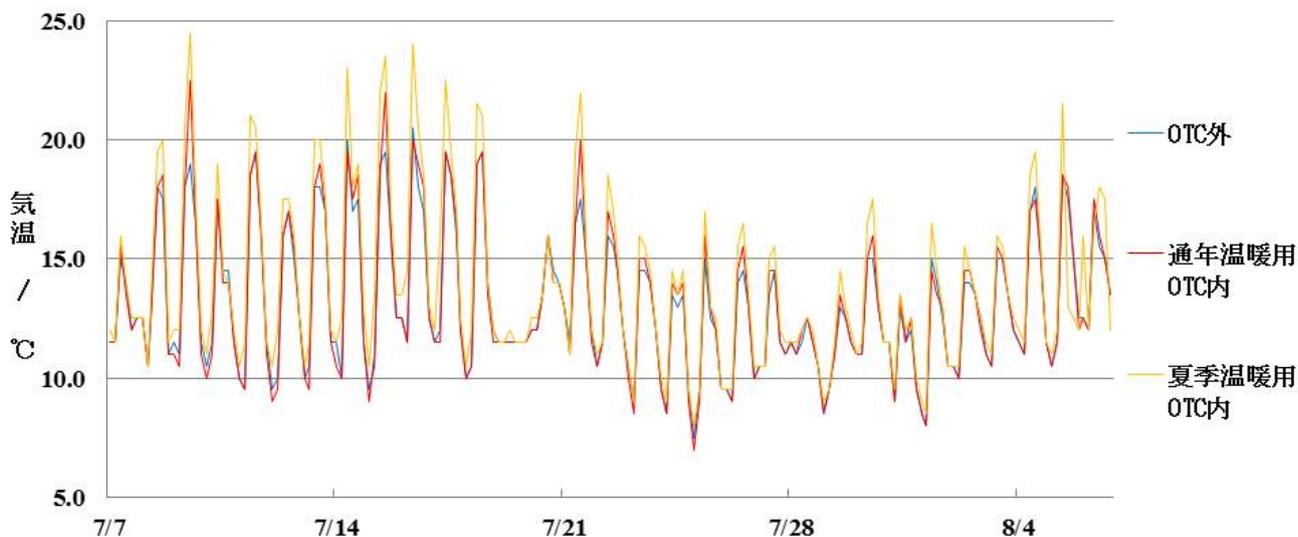


図 15. 西駒演習林 OTC 内と OTC 外の気温（2011 年 7 月 7 日～8 月 6 日、高さ 30 cm）

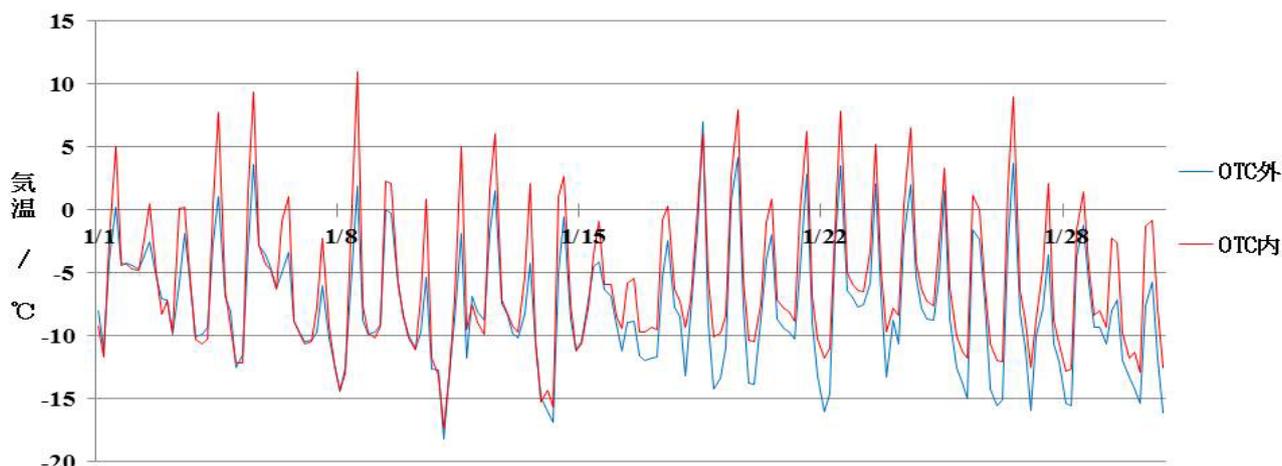


図 16. ススキ草原 OTC 内と OTC 外の気温 (2011 年 1 月 1 日～31 日、高さ 100 cm)

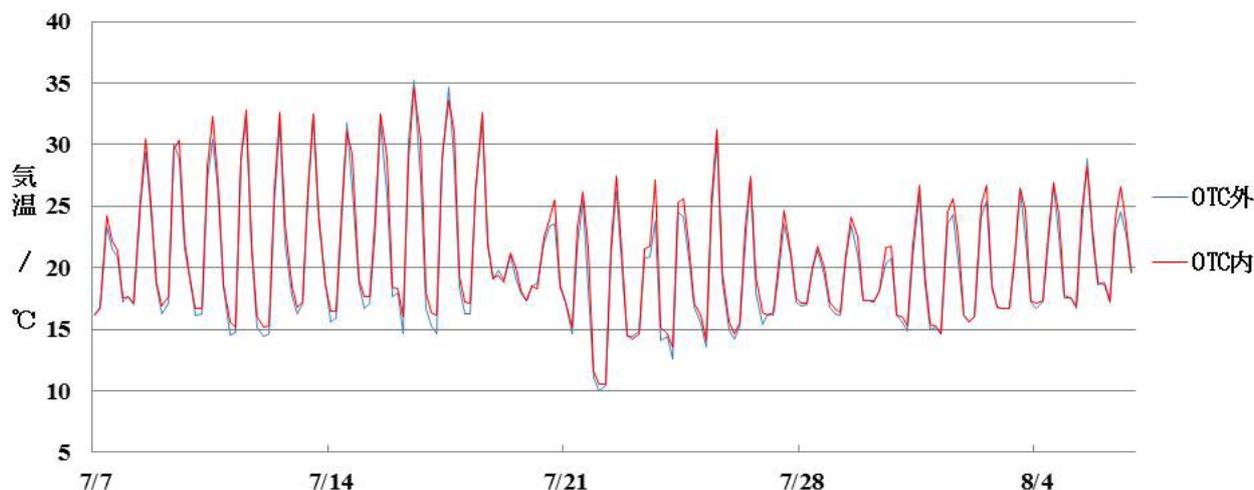


図 17. ススキ草原 OTC 内と OTC 外の気温 (2011 年 7 月 7 日～8 月 6 日、高さ 100 cm)

7. まとめ

OTC の支柱の幅は約 3 cm でそれほど雪の影響を受けるとは考えていなかった。しかし、実際には多くの OTC が雪圧の影響を受け、OTC が斜面下側にずれていた。上部が著しく破損していた OTC があつたことについては、周囲の樹上より相当な重さの雪塊が落下したことが原因だと推測した。そのため OTC の上部に張り出している一部の枝を落とさざるを得なかった。波板が雪圧で破損するような被害はなかったが、積雪による OTC フレームの沈下があつた。このことはまったく予想していなかった。アンカーを使用していない支柱の沈下が、アンカーを使用している支柱の沈下よりも大きかつたことが、OTC が歪む一番の原因となつていた。

雪圧による被害は来年以降も考えられる。被害を最小限に抑える方法を検討しなければならない。また一度曲がってしまった支柱を修復することは非常に困難であり、支柱が大きく曲がった OTC に関してどのように復旧させるかも課題の一つである。2012 年も、雪解けの頃にメンテナンスのために実験地に向かう予定であるが、西駒山荘は 6 月末まで開業しないため、その中でどのように作業を行うのかも大

きな課題である。OTC を用いた実験が進行することが大切であるが、今年度は温度ロガーの多くで欠測という事態が起きた。今後は、講じた対策が有効に機能することを期待したい。

菅平高原実験センター内の OTC に関しては、フックボルトが数個脱落した以外、問題は発生していない。センター内の OTC は、西駒演習林の OTC を設置した後で設置したこともあり、また設置場所が緩斜面で障害物もほとんどない環境のため、しっかりとものを設置することができた。そのため張り綱等もバランスよくつけることができた。

これはメンテナンスフリーに近い温暖化実験装置の開発に成功したといえる。実験結果が出るのは数年先となるが、良い研究ができることを期待したい。

8. 謝辞

本稿をまとめるにあたり、筑波大学菅平高原実験センター田中健太助教に助言をいただきました。信州大学小林元准教授には、作業に必要な様々な便宜を図っていただきました。高橋一太君をはじめ 7 名の信州大学生には、荷物の運搬や設置作業にご協力いただきました。深く感謝いたします。

Zabbix によるシステム監視

ーシステム情報工学等技術室研修報告ー

川上 彰、山形 朝義、山崎 豊
筑波大学システム情報工学等技術室
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

システム情報工学等技術室では、平成 20 年度より技術職員勉強会が行われている。勉強会は 2 名以上のメンバーによるグループ形式で行われており、平成 23 年度は 6 件が開催されている。本報告では、その 1 つとして、Zabbix によるシステム監視に関する勉強会の結果を報告する。

キーワード： Zabbix

1. はじめに

数多くあるコンピュータやネットワーク機器を効率的に監視するためのツールとして幾つかのソフトウェアがあるが、この中の Zabbix について実際に環境を構築して試用した。

Zabbix は、システム監視用のソフトウェアとして、GNU General Public License (GPL) の元に公開されている。これを利用することで、計算機システムや周辺機器、ネットワーク機器等を一元的に監視することができ、また監視対象の機器が SNMP (Simple Network Management Protocol) に対応している場合、詳細な情報を得ることもできる。

従来、機器の障害は利用者からの連絡があつて対応することが多かった。この場合、対応の遅れにより障害の影響が広範囲に及ぶこともある。Zabbix を利用して機器の状態を監視することで、機器に異常があった場合、発生から短時間でメール等により管理者が障害状況を把握することができる。

今回、サーバ機器、無線アクセスポイント、ネットワーク機器等を対象に、試験的に Zabbix による監視環境を構築したので、その状況について報告する。

2. Zabbix サーバの環境

Zabbix を利用するために、パーソナルコンピュータに Linux をインストールし、その上に Zabbix システムの環境を構築した。Linux ディストリビューションは CentOS (バージョン 5.6) を使用し、Zabbix はバージョン 1.8.5 を CentOS の yum コマンドを使ってイ

表 1. Zabbix サーバのハードウェアスペック

項目	スペック
プロセッサ	Pentium 4 プロセッサ 2.80GHz
メモリサイズ	1 GB
ディスク容量	73 GB
ネットワークコントローラ	インテル PRO/1000MT

ンストールした。使用したパソコンのハードウェア環境は、表 1 のとおりである。

3. 監視対象

表 2 の 35 台の機器を監視対象とし、これらを 6 つのグループに分けた。各々のグループ内の共通化できる部分は、Zabbix のテンプレート機能を利用して共通化した。ただし、同じグループであっても機能が異なる機器についてはテンプレートを使用しなかった物もある。

テンプレートは、監視項目、監視方法、障害等の共通する設定内容を用意し、各機器に適用して利用することができる。これにより設定を効率的に行うことが可能となる。

表 2. 監視対象機器

グループ	機器
1	管理用サーバ1
2	管理用サーバ2
3	WEB・計算用サーバ
4	経政専攻サーバ
5	経政専攻 DHCP サーバ
6	Xen 仮想環境
7	バックアップサーバ
8	コアスイッチングハブ
9	負荷分散装置
10	ネットワークスイッチ
11	スイッチングハブ C102
12	スイッチングハブ C104
13	スイッチングハブ C114
14	無停電電源装置 1 (ups1)
15	無停電電源装置 2 (ups2)
15	無停電電源装置 3 (ups3)
16	ネットワークストレージ装置
17	無線 LAN アクセスポイント (wlapc102)
18	無線 LAN アクセスポイント (wlapc104)
19	無線 LAN アクセスポイント (wlapc114)
20	無線 LAN アクセスポイント (wlapc110)
21	無線 LAN アクセスポイント (wlapc201)
22	無線 LAN アクセスポイント (wlapc311)
23	無線 LAN アクセスポイント (wlapc403)
24	無線 LAN アクセスポイント (wlapc209a)
25	無線 LAN アクセスポイント (wlapc209b)
26	無線 LAN アクセスポイント (wlapc209c)
27	無線 LAN アクセスポイント (wlapc402)
28	無線 LAN アクセスポイント (wlapf10a)
29	無線 LAN アクセスポイント (wlapf10b)
30	無線 LAN アクセスポイント (wlapf10c)
31	無線 LAN アクセスポイント (wlapf12a)
32	無線 LAN アクセスポイント (wlapf12b)
33	DHCP サーバ (dhcp-96a)
34	DHCP サーバ (dhcp-99a)
35	DHCP サーバ (dhcp-101a)

4. 設定

Zabbix の設定は、WEB ブラウザから行うことができる。監視対象となる機器に対する監視項目や障害検知の条件、通知方法の設定の他に、機器の稼働状況のグラフ表示機能やネットワークの繋がりを表すマップの作成も可能となっている。設定は、機器ごとに個別に行うこともできるが、テンプレートをを使用することで効率的に作業を行うことができる。

例えば、Linux サーバの場合、ネットワークインターフェースの通信量、CPU 負荷、本体の温度等はテンプレートをし、メモリの残量については各々のサーバごとに設定している。設定された閾値を超えた（あるいは下回った）場合、メール等で管理者へ通知される。また、メール（IMAP、POP、SMTP）、リモートログイン（SSH）、WEB 等のサーバソフトウェアについても動作チェックを行うことが可能である。これらの機能は、監視対象のサーバに Zabbix 用のエージェントと呼ばれるソフトウェアをインストールすることで実現されている。

一例として、Linux サーバの 1 台について、障害通知の条件設定（Zabbix のトリガー設定）を図1に示す。ここでは、テンプレートによって設定された条件に加えて、対象とするサーバに固有の条件を追加している。また、1 つの機器に複数のテンプレートを適用することが可能で、サーバの性能に関するテンプレートと本体の温度監視を行うテンプレートの 2 つを指定している。設定された条件に該当する状況が発生すると、Zabbix のアクションで設定された内容が実行される。今回は、障害発生時は管理者へメールで通知されるように設定した。

名前	ステータス	名義	条件式
Template_syscpu Over Load	有効		(mgmt1.system.cpu.load_avg[1].min(60))>5
Template_free_memory	有効		(mgmt1.virt.memory.available.last(10))<100
Template_free_memory	有効		(mgmt1.virt.memory.available.last(10))<500
Template_sysIMAP server is running	有効		(mgmt1.net.tcp.service[imap].last(10))=0
Template_sysIncoming traffic on interface eth0	有効		(mgmt1.net.if.eth0.bytes.avg(10))>5000
Template_sysIncoming traffic on interface eth1	有効		(mgmt1.net.if.eth1.bytes.avg(10))>5000
Template_sysLack of free memory on server [HOSTNAME]	有効		(mgmt1.virt.memory.available.last(10))<100
Template_sysOutgoing traffic on interface eth0	有効		(mgmt1.net.if.eth0.bytes.avg(10))>500
Template_sysOutgoing traffic on interface eth1	有効		(mgmt1.net.if.eth1.bytes.avg(10))>500
Template_sysPOP server is running	有効		(mgmt1.net.tcp.service[pop].last(10))=0
Template_sysTemperatureServer Temperature Max Failure Threshold	有効		(mgmt1.temp.avg[300])>47
Template_sysTemperatureServer Temperature Max Warning Threshold	有効		(mgmt1.temp.avg[120])>42
Template_sysSSH server is running	有効		(mgmt1.net.tcp.service[ssh].last(10))=0

図 1. 通知条件の設定

5. グラフ表示

Zabbix のグラフ機能を利用することで、データの比率や時間的な変化をグラフとして表示することができる。今回、監視対象とした機器の内、ネットワークスイッチは SNMP に対応しており、この機能を Zabbix から利用することでポートごとの通信量を取得することができる。図 2 に、このグラフを示す。表示期間や表示内容は設定により変更することができる。ここでは 2 週間分の通信量の変化を表示しているが、主に NAS (Network Attached Storage) 装置との通信量が多いことが分かる。また、11 月の 12 日 (土)、13 日 (日)、

19 日 (土)、20 日 (日) の通信量は他の日と比べて少ないことが分かる。

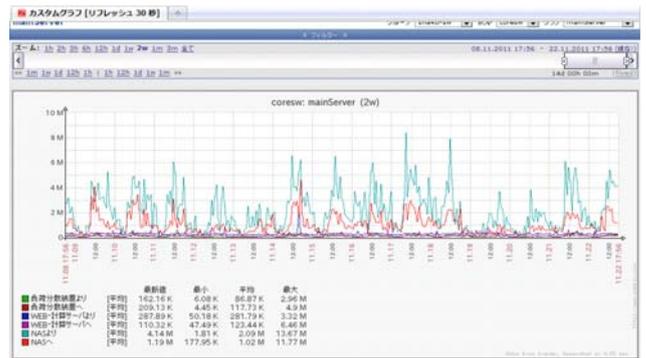


図 2. ネットワークスイッチの通信状況

また、別のグラフとして Linux サーバの CPU のロードアベレージ (5 分間の平均値) を 1 ヶ月分表示したものが図 3 である。毎週、金曜日の晩から土曜日にかけて負荷が上がっているが、これは管理用に定期的に行われているクローンジョブの影響と思われる。このサーバはクアッドコアの CPU を 4 個搭載しているので、負荷としては問題ないことが分かる。

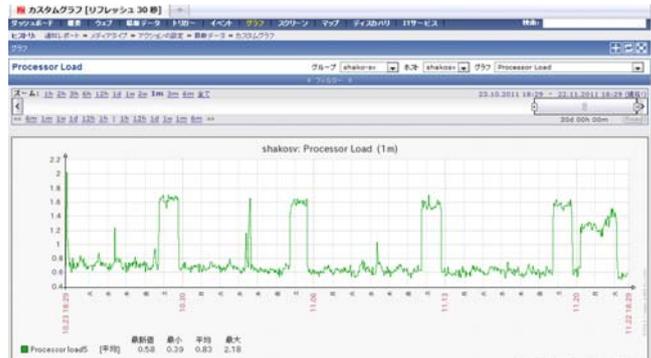


図 3. Linux サーバの CPU 負荷

Zabbix のスクリーン機能を使うことで、グラフや設定情報等の複数の内容を 1 つの画面にまとめて表示することができる。この機能を使うことにより、1 つの



図 4. Linux サーバのスクリーン表示

監視対象の異なった情報を同じ画面に表示したり、複数の機器の動作状況を同じ画面上で比較したりすることができる。図 4 に Linux サーバの実行プロセス数、CPU 負荷、ネットワーク負荷、本体温度、メモリー使用状況を 1 画面にまとめて表示した例を示す。サーバの動作が不安定な場合や障害が発生した場合、スクリーンで全体の動作を確認することで、原因を特定する手がかりとして利用することができる。

また、図 5 は無線アクセスポイント (16 台分) の通信状況を表すスクリーン画面の一部である。これを見ることで、動作状況と併せて各アクセスポイントの利用状況も把握することができる。

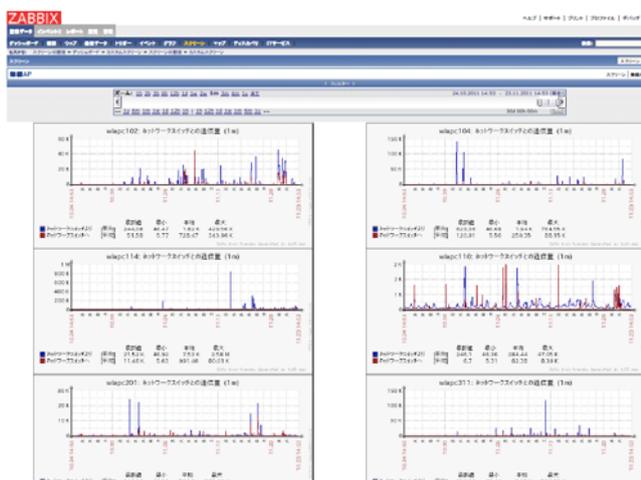


図 5. 無線アクセスポイントの通信状況

6. マップ機能

監視機器のネットワーク接続状況を Zabbix のマップ機能を使って表示することができる。作成したマップは、機器の状態に応じて色を変化させたり、ネットワーク接続のライン表示を変えたりすることができる。これ

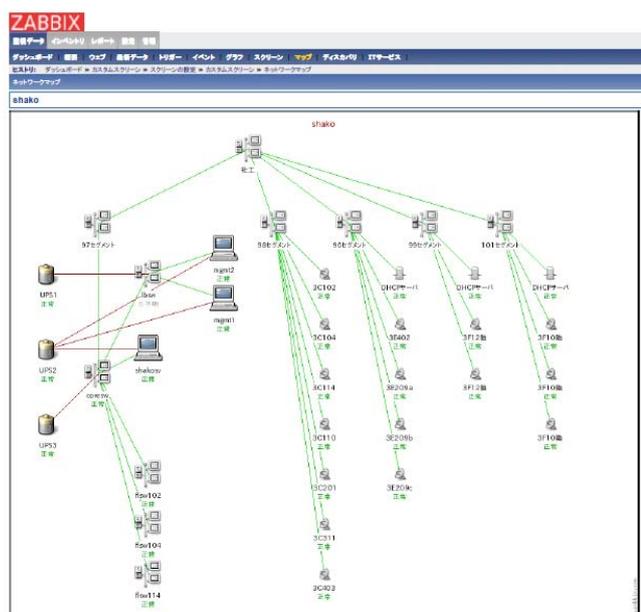


図 6. マップ表示

らの機能を利用することで、障害時に発生源となっている機器を特定する際の手助けとなる。

図 6 にマップを使ったシステムの接続図を示す。図には、ネットワークスイッチ、サーバ、無線アクセスポイント、UPS (無停電電源装置) が配置されており、障害発生時には機器やネットワークのアイコンが変化するように設定されている。機器の配置やアイコン、ネットワーク接続を表すライン等はマップの登録時に設定する。障害発生時の表示も併せて登録することができる。

7. 使用状況

Zabbix の利用を開始してから数カ月と日が浅いこともあり、大きな障害に遭遇する機会はないが、細かなトラブルや調整した点について報告する。

7.1 無線アクセスポイントの死活監視

当初、アクセスポイントに対しては Ping による死活チェックを行っていた。しかし、Ping に対しては正常に応答があるが、パソコンから無線接続ができないといったトラブルがあった。アクセスポイント自体が持つ管理用の WEB ページへアクセスしようとしたところレスポンスのない状態となっていた。アクセスポイントのファームウェアを更新して対処したが、Zabbix からも Ping による監視に加えて、WEB アクセスのチェックを行うことにした。

7.2 サーバ室の室温チェック

サーバ室の空調機器が老朽化しており、故障により停止することが懸念される。空調機の障害は、長時間放置すると機器の故障等を引き起こす可能性もあり、速やかに対応する必要がある。

そこで、Zabbix を使って室温を監視することを検討した。サーバ室に設置されているサーバ機本体や UPS (無停電電源装置) は、機器本体の温度を SNMP で通知する機能を有している。この機能を使って、通常の温度に比べて温度が上昇した場合、2 段階の閾値 (警告と重度の障害) を設定し、管理者へメールで通知するようにした。

7.3 DHCP サーバの SNMP 対応

動的な IP アドレス管理を行うため、ネットワークセグメントに DHCP サーバが設置されている。この DHCP サーバは、維持管理や耐久性を考慮して小型の専用機を使用している。当初、このサーバを Zabbix の ping 機能により監視していたが、DHCP サーバで net-snmp (snmp 用のフリーソフトウェア) が利用できると分かったので、インストールして利用した。これにより、機器自体の CPU 負荷やメモリー使用量、ネットワーク状態等も併せて監視することができるようになった。

サーバ機の DHCP デーモンの動作状況や IP アドレスのリース状況に応じた監視情報も取得したいと考えたが、これには高度な設定作業が必要になるようなので、今回は見送った。

8. まとめ

システム監視用のツールとして幾つかのソフトウェアがあるが、実際に試用してみて Zabbix は非常に有用なものであると感じた。ただし、このソフトウェアも何をどのように監視するかを事前に計画して設定を行う必要があり、この事前計画によって、その後の運用や拡張する際に大きな影響を与えるものと思われる。そのためには Zabbix の機能を理解している必要があり、今回試験的に行った導入作業を通して、その機能の一部ではあるが理解することができた。今後、Zabbix を使って大規模な監視環境を作る必要が発生した際は、今回の勉強会の成果を活かせると思う。

また、更に高度な機能を利用することで、他のソフトウェアと連携させることも可能なようなので、機会があったら利用してみたい。

9. 謝辞

システム情報工学等技術室技術職員勉強会は、システム情報工学研究科より経費等の支援を頂き開催しております。関係者の皆さまに感謝致します。

参考文献

- [1] 寺島広大, Zabbix 統合監視[実践]入門, 技術評論社 (2010)
- [2] 寺島広大, ZABBIX 徹底活用術, Software Design, 2008 年 10 月号 13-55

杭形ロードセルの製作

飯高 稔

筑波大学システム情報工学等技術室（装置開発担当）

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

透過形土石流対策工の粒子流れの検証を行うために、杭形ロードセルを製作した。杭に模擬した荷重計を水路の底盤に設置して杭に作用する力を測定する。製作したロードセルは、1 N～1 kN である。アクリル製の傾斜形簡易水路を作製して、小容量ロードセルを用いた実験と、大型水路で 1 kN ロードセルを用いた実験を行った。

キーワード：ロードセル

1. はじめに

地盤工学研究室では透過型土石流対策工の有効性について PIV¹（粒子画像流速測定法）および数値解析として DEM（個別要素法）を用いて定量的な評価を行っている。その第一段階として水を含まない粒子流れの検証を行うために傾斜形簡易水路と杭形ロードセルの製作を依頼された。

2. ロードセル

杭形ロードセルを製作するに当たり、杭にかかる連続荷重を測定することは困難であると思われるので、図 1 のように杭を軸方向に分割して、各部分に掛かる荷重を測定する方法にした。小さいロードセルを杭に取り付けて、連続の荷重は分からないが、1 つのロードセルでその面に受けている分布荷重の合力を測定する。ロードセルを多くすることで、合力の数を増やし連続荷重に近づける。

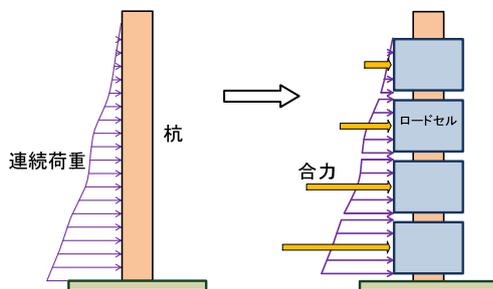


図 1. 杭形ロードセルの概念図

まず、粒子物性が土石流の流動特性に与える影響を見るために、小型水路実験用として低容量ロードセルを製作した。想定荷重は 10 N である。幅 5 mm 縦 7.5 mm、厚さ 0.2 mm の薄板ばねにひずみゲージを張り付けブリッジ回路を組み、支柱に片持ち梁形

式で取り付けられた。10 N で 800 μ ひずみ程度の出力がある。荷重を受ける円柱形のコマはアクリル製で、直径 20 mm、厚さ 10 mm で、5 コマ取り付けられた。荷重を受けるコマの直径が、杭の直径となる。

1 kN ロードセルは、大型水路を使用した水混じり土石流の実験用に製作した。10 N ロードセルと同じ方式で、支柱にステンレス製の薄板ばねの両端をねじで留めて両端梁構造で作った。1 kN で 1000 μ ひずみ程度の出力がある。荷重を受けるコマはアルミ製で直径 40 mm 高さ 40 mm を 6 個取り付けられている。製作図を図 2 に示す。

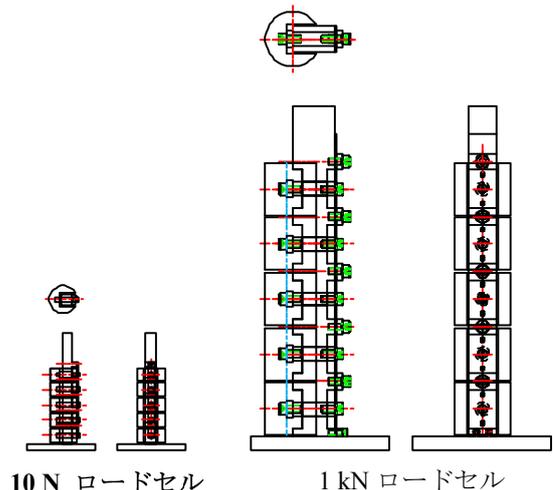


図 2. 杭形ロードセルの製作図

製作した 10 N 杭形ロードセルと 1 kN 杭形ロードセルを図 3 に示す。ひずみゲージから出るケーブルは、支柱の背面の上部にまとめてから、計測器に接続した。計測器は東京測器 DC-204R を使用した。



図 3. 製作した杭形ロードセル

3. 実験

透過形土石流対策工の模型実験を行うために、アクリル製の小型水路を製作した。水路の大きさは、幅 160 mm、高さ 250 mm、長さ 1500 mm である。底部に豊浦標準砂を糊付けして摩擦を与え、上部の緑色のホッパーに豊浦標準砂を投入して一定流量の砂を流す。水路の底盤に杭を模擬したロードセルを取り付けて、杭に作用する力を測定する。また上部に CCD カメラを取り付けて、画像を取得し PIV 解析による速度場計測を行う。



図 4. 小型水路実験の概要

図 5 は小型水路実験の様子である。ロードセルの間に砂が入り込まないように、薄いゴム膜メンブレンをかぶせてある。実験は流量を 3000 cm^3 に一定にして傾斜角を変えて行った。



図 5. 小型水路での実験

大型水路を用いた実験では、幅 400 mm、高さ 500 mm、長さ 20 m の水路を使用した。図 6 は大型水路での実験の様子である。



図 6. 大型水路での実験

実験は、粒径 $9.0 \sim 30 \text{ mm}$ の礫からなる試料を、水路上部に貯め、水を一定量加えたのち仕切りを外して斜面を流下させ、水混じりの土石流実験を行う。

た。斜面の途中にロードセルを固定し、ロードセルの上部に高速度カメラを設置して、礫がロードセルに衝突する様子を取得して、PIV 解析を行う。

4. ロードセルの改良

平均粒径 $0.2 \sim 4 \text{ mm}$ のガラスビーズを使用した実験用として、1 N ロードセルを製作した。今までの支柱に薄板ばねを取り付けた方法では出力が小さいので、真鍮を両端梁になる様にくり抜き、梁の両端にゲージを添付して単体のロードセルを作製した。このロードセルを必要な数だけ積み上げて、杭形ロードセルとした。

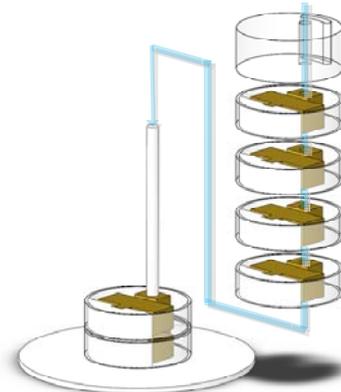


図 7. 改良したロードセル

製作した 1 N ロードセルを図 7 に示す。リード線がアクリルの筒に当たらないように、配線をまとめて通すダミーの頭をつけてある。



図 8. 製作した 1 N ロードセル

5. まとめ

改良したロードセルは感度、線形性、ヒステリシス、安定性共に優れていた。利点としてはゲージを貼り付けた直線梁受感部の厚さや材質（弾性係数）を変えることによって定格容量を調節できる。単体で作るので何段でも積み重ねられ任意の高さにできるなどが挙げられる。問題点は直径を小さくすることが困難、個数が多くなるとリード線の取り回しに工夫がいる、などである。連続荷重の測定は今後の課題である。

参考文献

- [1] 佐藤和正, 土石流の流体力に及ぼす粒子物性の影響、筑波大学構造エネルギー専攻 2005 年度修士論文

技術報告

DDR2 SDRAM をフレームバッファに使用した CMOS カメラ表示回路の実装

小野 雅晃

筑波大学システム情報工学等技術室

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) カメラの撮影画像を XGA (eXtended Graphics Array) サイズのディスプレイに表示する回路を Xilinx 社の FPGA (Field-Programmable Gate Array) に実装した。CMOS カメラは Aptina 社の 300 万画素のカメラを使用している。カメラのフレームレートは 12 fps (Frames Per Second)、ディスプレイのフレームレートは 60 fps であるため、フレームレート変換が必要となる。そのためのフレームバッファとして、SO-DIMM (Small Outline Dual In-line Memory Module) の DDR2 SDRAM (Double-Data-Rate2 Synchronous Dynamic Random Access Memory) を使用している。

キーワード : CMOS カメラ、ディスプレイ表示、DDR2 SDRAM

1. はじめに

筑波大学システム情報系、和田耕一教授から研究用に使用するカメラ表示装置を作って欲しいとの依頼を受けた。カメラ表示装置は研究用の回路を載せるベースとなるシステムである。

FPGA 基板を選定し、アカデミック価格があって安価な Digilent 社の XUPV5-LX110T ボード^[1]と Aptina 社の 300 万画素の CMOS カメラを購入して開発がスタートした。

当初、うまく回路が動作せず悩んだ期間があったが、CMOS カメラが撮影した映像を XGA のディスプレイに表示することができた。

2. CMOS カメラ表示装置の概要



図 1. CMOS カメラ表示装置

CMOS カメラ表示装置を図 1 に、CMOS カメラ表示装置のブロック図を図 2 に示す。

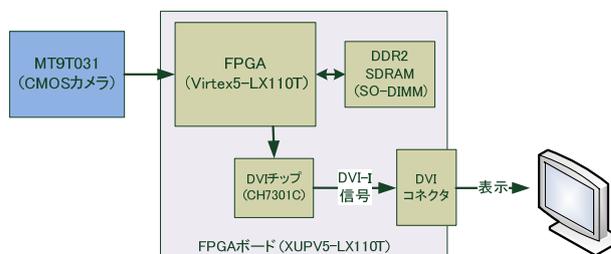


図 2. CMOS カメラ表示装置ブロック図

図 2 において、CMOS カメラ表示装置は、CMOS カメラと FPGA ボード (XUPV5-LX110T) の FPGA (Virtex5-LX110T)、DDR2 SDRAM (SO-DIMM)、DVI チップ (CH7301C)、DVI コネクタで構成されている。

CMOS カメラから取得された画像データは、FPGA 内で処理され、DDR2 SDRAM に書き込まれる。その画像データは、FPGA で読み出されて DVI チップに送られる。DVI チップで DVI 信号に変換され、DVI コネクタを通じてディスプレイに表示される。

CMOS カメラからの画像データを直接 DVI チップに送らないのは、主に画像のフレームレートが異なるからである。CMOS カメラは 12 fps で画像データを出力するが、ディスプレイは 60 fps の画像データを要求する。CMOS カメラからの画像データは 12 fps で DDR2 SDRAM に書き込み、ディスプレイに表示するために 60 fps で DDR2 SDRAM から読み出す。間に DDR2 SDRAM が入ることで、フレームレートの変換を行う。

3. CMOS カメラ^[2]

CMOS カメラは、Aptina 社の MT9T031 を使用した。MT9T031 は 300 万画素の CMOS デジタル・イメージセンサである。この CMOS カメラの有効画素数は、2,048×1,536 ピクセル、最大動作周波数は 48 MHz である。QXGA (2,048×1,536 ピクセル) の場合

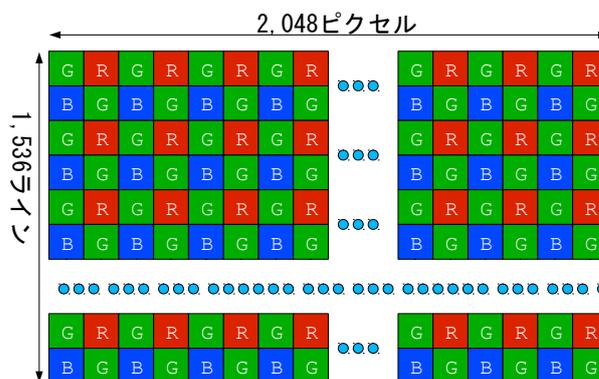


図 3. MT9T031 の画素の配置

に 48 MHz のクロックを入力すると 12 fps で画像をキャプチャすることができる。

MT9T031 の画素は Bayer カラー・パターンとなっている。赤 (R)、青 (B)、緑 (G) のいずれかの 1 色ずつの撮像素子の配列は Bayer カラー・パターンと呼ばれている。画素の配列の様子を図 3 に示す。図 3 に示すように、最初のラインの最初の画素は G である。その次は R となる。その後、G, R, G, R... と続く。最初のラインには B は存在しない。次のラインは B から始まり、その次は G となる。その後、B, G, B, G... と続く。2 番目のラインには R は存在しない。このように、R や B に対して G が 2 倍多くある。これは、人間の目の感度が緑付近をピークとなっていて、見かけ上の解像度を上げるためである^[3]。

通常は周辺の画素データを用いて補完を行うことで QXGA の画素データを作り出す。しかし、今回は画像処理に使用するベース回路として実装するので、2x2 の 4 画素のうち 2 つの G の平均をとって新しい G とし、R と B はそのまま使用することにした。これで、元の画素の 1/4 の 1,024x768 ピクセル (XGA) の画像として使用している。(図 4 参照) これらの画像処理は FPGA ボード上の FPGA で行なっている。

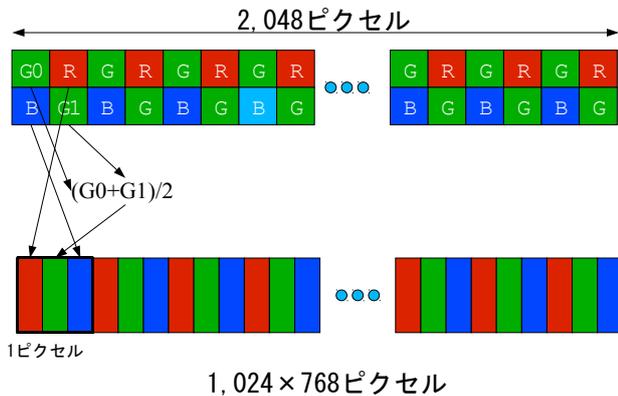


図 4. QXGA から XGA への画素の変換方法

MT9T031 には、動作モードの設定用レジスタが 256 個実装されている。これらのレジスタの設定方法は I2C (Inter-Integrated Circuit) シリアルインターフェースを介して行う。I2C シリアルインターフェースを FPGA に実装してあるので、初期化時にレジスタの値を設定することができる。設定できる項目としては、表示領域、ゲイン、シャッター状態等がある。現在は、カメラのゲインを設定している。

4. FPGA 内の回路ブロック

FPGA は、CMOS カメラからの画像データを受け取って、QXGA から XGA の変換を行った後で、DDR2 SDRAM へ書き込む。また、DDR2 SDRAM にバッファした画像データを読みだして、DVI チップのフォーマットに変換して DVI チップに書き込んでいく。

FPGA 内の回路ブロックを図 5 に示す。回路ブロックは、Camera Controller、Display Controller、Arbiter、DDR2 SDRAM Controller から構成される。

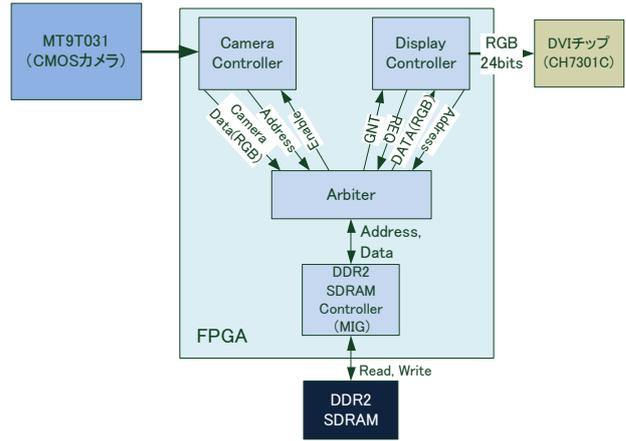


図 5. FPGA 内の回路ブロック

4.1 Camera Controller

Camera Controller のブロック図を図 6 に示す。

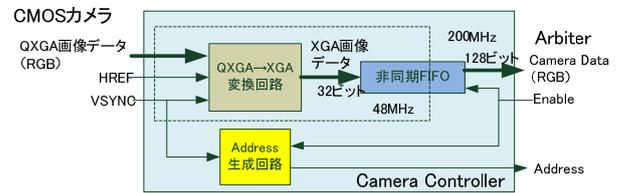


図 6. Camera Controller ブロック図

図 6 に示すように、CMOS カメラから入力された QXGA の画像データは、Camera Controller 内の QXGA→XGA 変換回路に入力され、XGA の画像データに変換される。変換された XGA 画像データは非同期 FIFO に 32 ビット長のデータとして入力される。ここまでの回路は CMOS カメラの動作周波数の 48 MHz クロックで動作する。Address 生成回路はフレームバッファ用の DDR2 SDRAM の番地を決定する。非同期 FIFO から画像データを出力するごとに Address をインクリメントして、画像フレームが終了したらリセットされる。非同期 FIFO は、Enable がアサートされたら 128 ビット長の画像データを Arbiter に出力する。32 ビットから 128 ビットへのビット長の変換は FIFO で行なっている。Address 生成回路と非同期 FIFO の出力は 200 MHz で動作する。

4.2 Display Controller

Display Controller のブロック図を図 7 に示す。

図 7 に示すように、Display Controller は、DDR2 SDRAM から入力した画像データ (DATA(RGB)) を DVI チップに送る働きをする。非同期 FIFO から DVI チップに送るデータが無くならないように画像データ管理回路が、非同期 FIFO 内の画像データを管理する。DVI チップに送る画像データが途切れると画像の乱れに直結する。

画像データの管理手順は、まず、初期化時に画像データ管理回路は Arbiter に REQ を送って画像データを要求する。GNT が帰ってきたらハンドシェイク信号を使用して、非同期 FIFO を画像データで FULL にする。その後、DVI チップに画像データを送り始める。

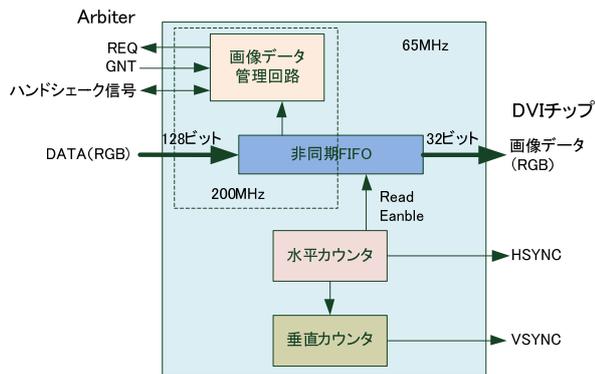


図 7. Display Controller ブロック図

画像データ管理回路は非同期 FIFO の容量が半分になったら、再度 Arbiter に REQ を送る。GNT が帰ってきたら、非同期 FIFO の半分の容量分の画像データを要求し、画像データを DDR2 SDRAM から受け取る。画像データを受け取っている間も、非同期 FIFO は画像データを DVI チップに送っているが、Arbiter のスループットが DVI チップの要求するスループットの約 12 倍であるため、非同期 FIFO に画像データが半分以上貯まることになる。

その他、Display Controller は、ディスプレイの表示機能を持っていて、画面のピクセルをカウントする水平カウンタ、画面のラインをカウントする垂直カウンタを持っている。水平カウンタからは水平同期信号 (HSYNC)、垂直カウンタからは垂直同期信号 (VSYNC) を出力している。Display Controller は、水平、垂直同期信号送出と共に DVI チップの入力フォーマットに合わせた画像データの送出を行う。

4.3 Arbiter

Arbiter は、Camera Controller の DDR2 SDRAM 書き込みと Display Controller の DDR2 SDRAM 読み出しの調停を行う。

Display Controller の非同期 FIFO にデータが無くなると画面が乱れてしまうので、Display Controller の要求を優先して DDR2 SDRAM の使用权を与える。

Display Controller が DDR2 SDRAM を読んでいる間に CMOS カメラから出力された画像データは、Camera Controller の非同期 FIFO に貯められる。Camera Controller の非同期 FIFO は十分な容量が確保されている。しかも、データがある程度溜まった方が、バースト長が長くなるので、データ書き込み帯域が増加してスループットが向上する。従って、CMOS カメラの画像データを書き損じることは無い。

図 8 に Arbiter のシミュレーション結果を示す。Camera Controller Signals の下には、Camera Controller からの信号を表示している。Display Controller Signals の下には、Display Controller からの信号を表示し、DDR2 SDRAM Controller Signals の下には、DDR2 SDRAM コントローラへの信号を表示している。

Display Controller のバス要求信号 `dispc_req` が 1 になると、Arbiter からバス許可信号 `dispc_gnt` を返す。Display Controller は `dispc_gnt` が帰ってきたら、`dispc_addr` に読み出す DDR2 SDRAM のアドレスをセットして、`dipc_addr_we` を 1 にアサートした後で 0 にする。`dipc_addr_we` の作業を Display Controller に実装された非同期 FIFO の半分の容量になるまで繰り返す。これらの動作は Read コマンドとして DDR2 SDRAM コントローラに投入される。DDR2 SDRAM Controller Signals の `ddr2_read_write` (1 = Read)、`ddr2_addr_fifo_wren`、`ddr2_address` を見れば同様の信号が投入されているのがわかる。`dipc_req` の立ち上がりから次の立ち上がりまでは、985nsec だった。実質的な Display Controller の DDR2 SDRAM の Read コマンド投入時間は 80 nsec だったので、80 nsec / 985 nsec x 100 ≒ 8% の帯域を使用している。

Camera Controller の画像データの書き込みは、非同期 FIFO のカウント数 (`cmfifo_rd_data_count`) が 2 以上になったときに行われる。その場合は、Arbiter の回路から `camc_addr_ena` と `camc_data_ena` が出力される。`camc_addr_ena` が 1 クロック分アサートされ、`camc_data_ena` は 2 クロック分アサートされる。これらの動作は Write コマンドとして、DDR2 SDRAM コントローラに投入される。`ddr2_read_write` (1 =



図 8. Arbiter のシミュレーション結果

Write)、 ddr2_address、 ddr2_addr_fifo_wren、 ddr2_data_ffio_wren が動いているのが見える。なお、Arbiter はアドレス、コマンドを処理するモジュールなので、データは処理されていない。データは他のモジュールを介して接続されている。Camera Controller のアクセスには 10 nsec 必要だった。

Display Controller の dispc_req の立ち上がりから次の立ち上がりまでに 985 nsec 必要で、その間に 10 nsec の Camera Controller のアクセスが 3 個入っている。 $(10 \text{ nsec} \times 3 + 80 \text{ nsec}) / 985 \text{ nsec} \times 100 \approx 11 \%$ となる。Camera Controller と Display Controller で全体域の 11 % を使用していて、残りの 89 % の帯域は空いている。これが全部使用できるわけではないが、十分に他の処理を並列に行うことができる。

5. DDR2 SDRAM コントローラ

DDR2 SDRAM コントローラは、Xilinx 社の標準の MIG (Memory Interface Generator) ^[4] を使用している。現在の動作周波数は 200 MHz で、Dual Data Rate で動作するので、DDR2 - 400 となり、400 MHz で動作するのと等価である。DDR2 SDRAM コントローラのデータの粒度は 256 ビットである。これは、4 (プリフェッチ数) \times 64 ビット (SO-DIMM のデータ幅) = 256 ビットのためである。MIG の Camera Controller や Display Controller へのデータ幅は 128 ビット長であるので、1 回のアクセスのために 2 回のデータ転送が必要となる。

図 9 に DDR2 SDRAM コントローラのシミュレーション結果を示す。これは図 8 に示したと同じ時刻の DDR2 SDRAM コントローラの波形となる。

図 9 において、app_ が付加されている信号は Arbiter 等との入出力信号となる。なお、Arbiter 以外にもデータバスが DDR2 SDRAM に接続されている。 ddr2_ が付加されている信号は DDR2 SDRAM への制御信号、データバス、クロックである。

これから DDR2 SDRAM へのコマンドの例を示す。 ddr2_ras_n = 1、 ddr2_cas_n = 0、 ddr2_we_n = 1 の信号は DDR2 SDRAM への Read コマンドとなる。Read

コマンドは Display Controller からの要求となるので、16 クロック期間に渡ってアサートされる。

ddr2_ras_n = 1、 ddr2_cas_n = 0、 ddr2_we_n = 0 の信号は DDR2 SDRAM への Write コマンドとなる。Write コマンドは Camera Controller からの要求となるので、通常は 2 クロック期間アサートされる。

DDR2 SDRAM の Read コマンドと Write コマンドの期間を合わせると、“4.3 Arbiter” で導出した帯域と同じになる。これは、ACTIVATE コマンド (ddr2_ras_n = 0、 ddr2_cas_n = 1、 ddr2_we_n = 1) や PRECHARGE コマンド (ddr2_ras_n = 0、 ddr2_cas_n = 1、 ddr2_we_n = 0) やそのリカバリ時間を含んでいないので、それらを考慮すると帯域の使用率が上がることがわかる。

6. DVI チップ^[5]

DVI チップは Display Controller から出力された画像出力を DVI のフォーマットに変換する。DVI チップには Chrontel 社の CH7301C を使用している。この DVI チップは DVI-I 用で、デジタル出力とアナログ出力の両方を出力することができる。また、I2C インターフェースで設定できる設定レジスタを持っていて、テスト用カラーバーの設定や DAC の設定などのいろいろな設定を行うことができる。FPGA に設定レジスタ設定用の回路を搭載していて、XGA モードで表示できるように 3 つのレジスタを設定している。

7. まとめ

研究のベースとなるカメラ表示装置を開発した。CMOS カメラからの QXGA 画像の 2 \times 2 画素を 1 画素に変換して、XGA 画像とした。また、XGA 画像を DVI チップによって DVI に変換し、ディスプレイに出力して目で確認することができた。

今回のカメラ表示装置は画像のボケを復元するハードウェアの研究用として使用されている。

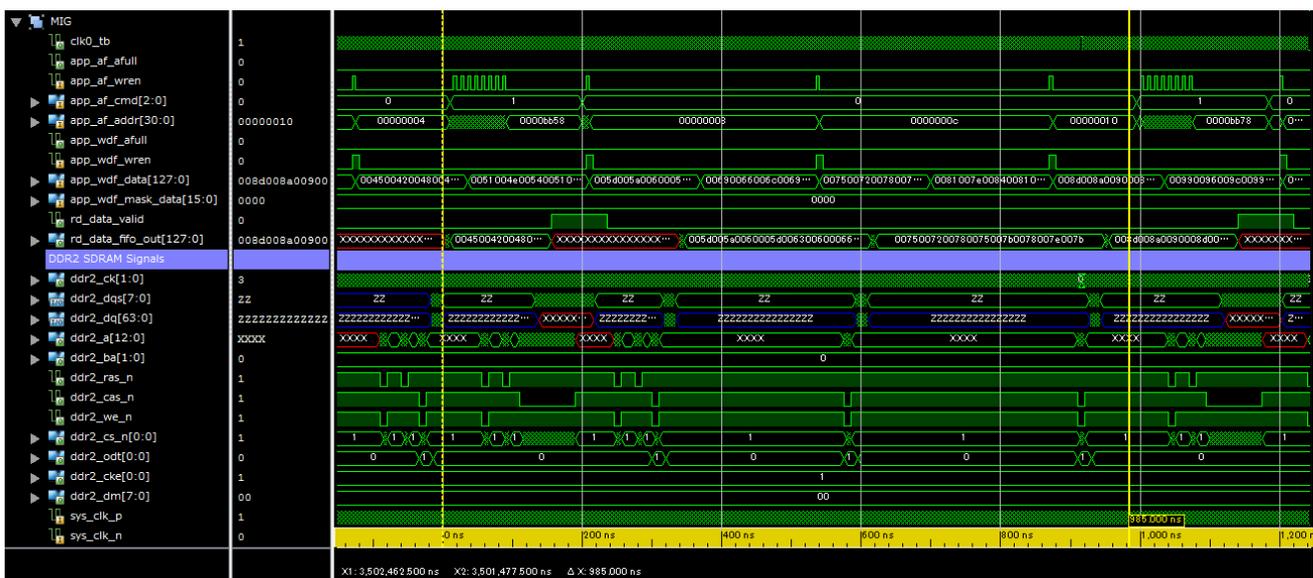


図 9. DDR2 SDRAM コントローラのシミュレーション結果

8. 謝辞

“DDR2 SDRAM をフレームバッファに使用した CMOS カメラ表示回路”を製作する機会を与えて頂いた、筑波大学システム情報系の和田耕一教授に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] ML505/ML506/ML507 Evaluation Platform User Guide, Xilinx, UG347 (v3.1.1) October 7, 2009
- [2] 1/2-Inch 3-Megapixel CMOS Digital Image Sensor MT9T031, Aptina Imaging Corporation, MT9T031_DS - Rev.D 6/10 EN
- [3] CMOS イメージセンサ, ウィキペディア, <http://ja.wikipedia.org/wiki/CMOS%E3%82%A4%E3%83%A1%E3%83%BC%E3%82%B8%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B5>
- [4] Memory Interface Solutions User Guide, Xilinx, UG086 (v3.6) September 21, 201
- [5] CH7301C DVI Transmitter Device, Chronitel, 201-0000-056 Rev. 1.5, 3/17/2010

筑波大学菅平高原実験センターにおける 過去 40 年間の気象変化の傾向

清水 悟

筑波大学菅平高原実験センター^{a)}

〒386-2204 長野県上田市菅平高原 1278-2271

概要

筑波大学菅平高原実験センターで観測されてきた気象要素の経年変化傾向をまとめ、アメダス観測値と比較した。2010 年の平年値更新に伴い、平均気温に変更は見られなかったが最高気温の極値が 2010 年の猛暑発生に伴い更新された。気温には有意な昇温は見られないが、実験センターでは降水量の増加傾向は顕著で、主に冬季の降雪版を利用した降水量測定値の増加が寄与している。その結果、降水量の平年値も 12% 増加した。一方で、積算降雪深に有意な増加傾向は見られず、清水 (2004) が指摘している積雪密度の増加傾向を追従している。実験センター屋上で観測されている風は北北西-南南東方向に卓越し、西南西-南西方向からの風は近傍の影響で観測されていない。風速が有意に減少する傾向が明らかとなり、近傍の森林の生長が影響していると考えられる。

キーワード: 菅平、気象観測、気候変動

1. はじめに

筑波大学菅平高原実験センター (略称、実験センター) は北緯 36 度 31.424 分、東経 138 度 20.873 分、標高 1324 m に位置し、中部山岳域を代表する山岳環境研究の拠点施設として 1934 年から運営されてきた。清水・峰村 (1998)、清水 (2005) は同施設における長期気象観測データに見られる経年変化の特徴をまとめてきた。気象データの平年値は 10 年ごとに更新される 30 年平均と規定されており、2010 年にこの平年値が改訂された。これを機会に、1971 年 - 2010 年の 40 年間にわたる気温・降水量の長期変化および近年の風況変化をまとめ、清水 (2005) で示された傾向との比較結果を報告する。

2. 観測およびデータ

実験センターでは、実験棟東側に位置する芝地にて温湿度、雨量および積雪深を、実験棟屋上 (地上高 13 m) にて風向風速、日照時間、および日射量を測定している。気温観測は白金測温抵抗体と二重円筒強制通風式を使用し、地上高 1.5 m の高さで測定している。冬季に約 80 cm 程度の積雪が生じるが、測定高度は変更していない。本解析では、

毎時に特定される瞬時値を時間値として扱い、日最高・最低気温は別途 1 分単位の出力値から特定している。平年値や季節別の平均値は時間値から算出し、期間中の極値は日最高・最低気温を用いて算出している。降水量データは 4 月から 11 月の降水量はヒーター付きの転倒ます型雨量計で測定された時間降水量を使用しているが、1 月 - 3 月および 12 月のデータについては降雪のあった日の雪を降雪板上で朝 9 時頃に採取し、一定の体積の雪を溶かして日降水量を換算している。但し、この期間の降雨日のみ、転倒マスで測定された値を日降水量としている。積雪深、降雪深は、圃場に近しい森林に囲まれた風の弱い場所で雪尺 (メモリのついたポール) とアクリル製の降雪板を用いて午前 9 時頃に毎日一回目視観測している。風向風速は風車型風向風速計を用いて測定し、風向は 16 方位を判別している。観測時刻の前 10 分間の測定値を平均し、その時刻の平均風向・平均風速とし、1 分ごとに出力し、60 分間隔で記録している。冬期は 1 キロワット電球 4 灯を常時点灯し、着雪凍結を防止している。

本報告では季節を春は 3 月 - 5 月、夏は 6 月 - 8 月、秋は 9 月 - 11 月、冬は 1 月 - 2 月および 12 月と定義した。菅平では、実験センターから約 3 km 西の菅平盆地内に気象庁アメダス観測地点 (北緯 36 度 31.909 分、東経 138 度 19.510 分、標高 1253 m) がある。本報告では、アメダスにて測定された値との比較も行った。

3. 平年値

今回新しく更新された 1981 年 - 2010 年を平年値とした気温および降水量に関する統計量を表 1 に示す。1971 - 2000 年 (1981 - 2010 年) のデータから計算した日平均気温・日最高気温・日最低気温はそれぞれ 6.536 °C、12.008 °C、1.782 °C (6.539 °C、12.049 °C、1.856 °C) であり、値は平年値の平均期間の変更に伴い 0.003 °C、0.041 °C、0.074 °C 上昇した。1981 - 2010 年の期間における年々変動の標準偏差はそれぞれ 0.3 度、0.8 度、0.6 度であり、気温に関しては年々変動と比較して平年値そのものに大きな変化を認められない。一方、降水量は 1971 - 2000 年における年平均降水量が 1194 mm/year であったのに比べ、今回の平年値は 1342 mm/year と 148 mm/year 増加した。1981 - 2010 年での標準偏差は 203 mm/year であり、5 章でも説明するように長期的な増加傾向が見られる。気温の極値を見ると、菅平高原でも 30 °C を超す値が出現している。一方、内陸に位置するため日降水量が 100 mm を越える日は観測されていない。

^{a)} 本報告は、平成 22 年度末の成果報告のため、その時点での所属を使用する。

以下、実験センターおよびアメダス地点における年平均気温および年降水量の経年変化を図1に、日最高・最低気温の年平均値変化を図2に、各年の最高気温・最低極値の変化を図3に示す。さらに、各季節で平均(積算)した気温(降水量)を実験センターとアメダスで比較し図4-7に示した。これらの図に見られる特徴を、以下に気温と降水量に別けて解説する。

4. 気温変化

年平均気温の40年分の変動を図1aに示す。年平均気温の上昇気温は40年で約0.3℃と清水(2005)が前回示した傾向から変化はなく、統計的にも有意な増加ではない。年平均気温は1980年代までは上昇傾向を示しているが、それ以降は最近年の2010年の7.9℃を除いてほぼ横ばいであった。アメダスの年平均気温の年々変動は実験センターと一致するが、1997年以前は実験センターでの観測値に比べて若干低温傾向を示し、それ以降はセンターより高温傾向が見られる。日最高気温は2010年で急激に昇温を示しており、回帰直線の傾きに大きな影響を与えている(図2a)。日最低気温の年平均値(図2b)は、0.014℃/yearと今回の解析で新たに有意な昇温と判定された。

各年で記録された最高・最低気温(極値)の経年変化傾向を図3に示す。両者ともわずかな上昇傾向がみられるが、統計的な有意性は認められなかった。最高気温の極値が30℃を超える年は観測期間前半の1985年以前には見られなかったが、それ以降には1987、1994、1995、2010年の4回記録された。特に2010年には8月5日に32℃を超える観測史上最高値を記録している。この年の8月は本州の広範囲で記録的な猛暑が発生している。一方、アメダスの観測値を見ると1998年以前は実験センターより低温を推移しているが、それ以降は年平均気温同様に若干高温傾向に遷移している。但し、2010年の最高気温は実験センターの値を大幅に下回っており、この要因が斜面と盆地低での地形的差異によるものかどうかは大変興味深い。近年、低標高域でも最高気温の極値が記録を更新しており、菅平のような高標高地点での極値更新との関係および狭域での気温分布の構造を解明していく必要がある。一方で、最低気温の極値に関しては清水(2005)によると明瞭な下降傾向が認められたが、今回は有意な変化傾向は認められなかった。これは1998年以降に最低気温が昇温に転じた結果である(図3b)。アメダスによる最低気温極値は実験センターの値に比べて極端に低い。これは、菅平盆地における冷気湖形成(鳥谷, 2004)が原因であると考えられる。このように、低温極値の発生には微地形における放射冷却と冷気層形成の効果が強く効いており、値の地域代表性に注意する必要がある。

次に、季節別に平均気温変化を議論する。清水(2005)前報では春期と秋期の平均気温に上昇傾向がみられたが、今回は秋期に最も大きい昇温率(0.18℃/year)が出現し(図6a)、次に冬期の0.01℃/yearが大きな昇温率となった(図7a)。ただし、何れも有意な傾向では無い。一方、今回の分析では夏期に下降傾向が出現した(図5a)。清水

(2005)では解析された一次回帰直線の傾き傾向が今回の解析で変化した要因は、1998年以降に気温変化傾向が逆転したためである。これは10年スケールの気候変動が菅平の気温遷移に影響を及ぼしている事を示唆している。

5. 降水量・積雪変化

年降水量の経年変化を図1bに示す。菅平実験センターでは12.8 mm/yearの有意な増加が見られた。このような有意な増加傾向は前回の報告内容でも確認されている。季節別に見ると、特に冬季降水量に顕著な増加傾向が見られる。この増加傾向はアメダスデータでは検出されず、むしろ冬期のアメダスデータによる降水量は1993/94年以後急激に低下している。佐藤ほか(2011)によると、長野地方気象台に問い合わせ、同時期に雨量計を溢水式から転倒マス式に変更したとの報告があったとの事である。菅平アメダスは開けた小学校グラウンドの季節風に対して風下に位置し、森林に囲まれた実験センター芝地の立地条件に比べ地上風速は強い事が想定される。従って、アメダスデータに見られた降水量の低下は、明らかに雨量計の種類の変更に伴う降雪の補足率低下が原因であると考えられる。一方、春、夏、秋期の降水量変化を見ると増加は見られたが有意な傾向とは言えない。

次に、実験センターにおける積雪状況を報告する。菅平における積算降雪深と最大積雪深の平年値は、それぞれ430 cm、60.1 cmとなり、日本海沿岸や北アルプス・越後山地といった山岳域と比べ少ない。冬期積算降雪深の経年変化を図8に示す。1983年度と1995年度は顕著な多雪、2006年は顕著な少雪年であった。今までに最も積雪が記録された年は積算降雪深が1995年で625 cm、最深積雪深は1984年3月22日の144 cm(近年では2008年2月27日の132 cm)である。なお1991年2月17日に大雪が発生し、当日は交通遮断のため降雪量は測定不能であった。後日の測定で、1-2日の間に92 cmの記録が発生していたが、これには積雪の再配分に伴う吹きだまりの影響も含まれていると考えられる。逆に、最も積算降雪深が少ないのは2006年で250 cmとなり、最大積雪深は53 cmであった。積算降雪深には有意な長期増加傾向は見られないが(図8)、冬季降水量に増加傾向が見られる(図7b)。後述するように地上風速には経年的な増加傾向が見られないため、たとえ積雪の再配分が生じてもその影響で降水量に増加傾向が生じたとは考えにくい。つまり、従来から、菅平高原で卓越していた乾燥粉雪による降雪に対して、近年は湿雪を伴う降雪頻度が増加してきている事を示唆する。菅平では冬季に冬型気圧配置と移動性低気圧の両方で降水がもたらされるが、低気圧通過時は温暖な気流が流入し、多湿の降雪がもたらされることが多い。前章で冬季の平均最低気温に有意では無いが上昇がみられた(図2)。つまり、冬季に卓越する気圧配置が長期的に変化していることが降積雪の質の長期変化傾向をもたらしている可能性がある。

6. 風向風速の変化

1998年から2010年までの月平均風速と季節別の風向頻度を図9に示す。風向発生頻度は、風速0.3 m/sec以上の時のみで計算しており、それ以下は無風とした。風速は春の4月に最大となり、夏の7-8月に最小となる。風向の頻度分布を見ると西南西-南西方向からの風はどの季節もほとんど吹かず、近傍の建築物や森林の影響を受けているものと考えられる。北北西および南南東からの風が卓越しており、前者は冬季に、後者は夏期に頻度が増加する。また、夏期には東北東からの風も発生している。

1998年以降の年平均風速変化(図10)を見ると、毎年0.03 m/s弱化する有意な減少傾向が明らかとなった。実験棟周辺の樹木は伐採を行っておらず、これらの成長のために粗度が増加し風速が低下傾向となっていると考えられる。

謝辞

本報告は中部山岳域連携事業の一環として実施した。本報告書をまとめるに当たり、上野健一准教授(筑波大学生命環境系)にはご指導ならびにご助言をいただきました。

引用文献

- [1] 清水悟, 峰村紀一, 1998: 長野県菅平における1970年-1997年(28年間)の気温、降水量の経年変化. 筑波大学技術報告, 18, 43-47.
- [2] 清水悟, 2005: 筑波大学菅平高原実験センターにおける過去35年間の気象観測からみた菅平の気象の傾向. 筑波大学技術報告, 25, 76-82.
- [3] 鳥谷 均, 2004: 菅平の冷気流. 堀口郁夫・小林哲夫・塚本 修・大槻恭一(編著)『局地気象学』, 森北出版, 217-222.
- [4] 佐藤香枝, 上野健一, 南光一樹, 清水悟, 長野県菅平高原における冬季降雨の発生傾向. 水文水資源学会誌投稿中.

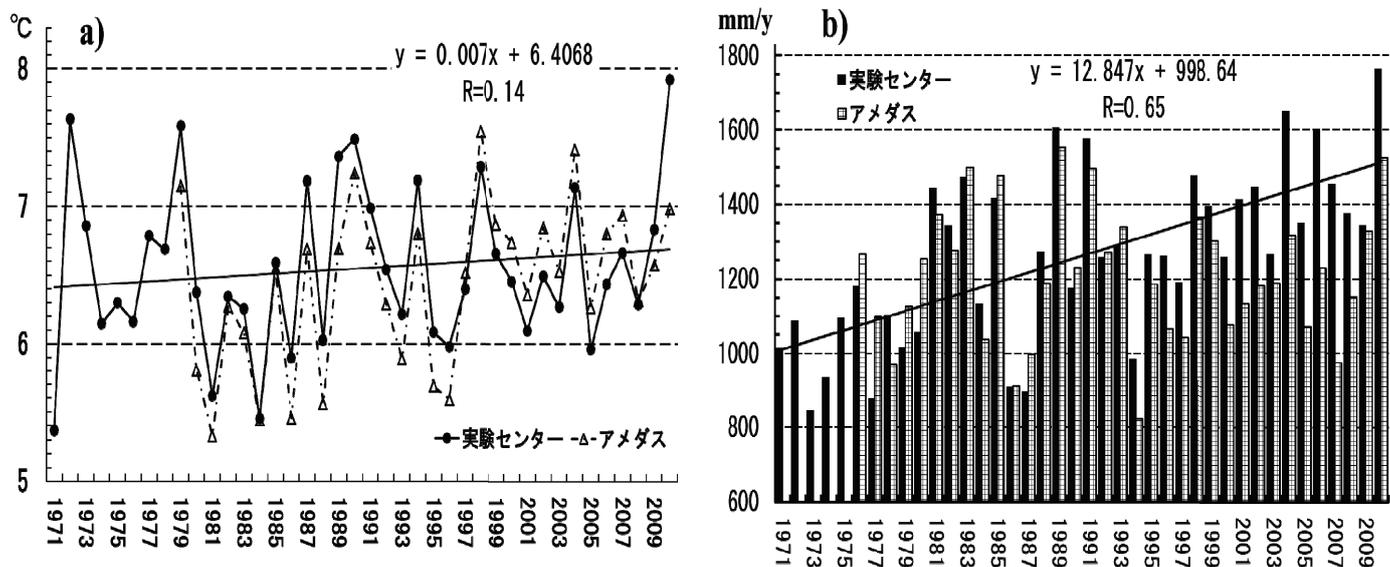


図1. 菅平実験センターおよび菅平アメダスにおける a) 年平均気温および b) 年降水量の経年変化。実験センターのデータから計算した一次回帰直線と回帰式・相関係数 (R) も示す

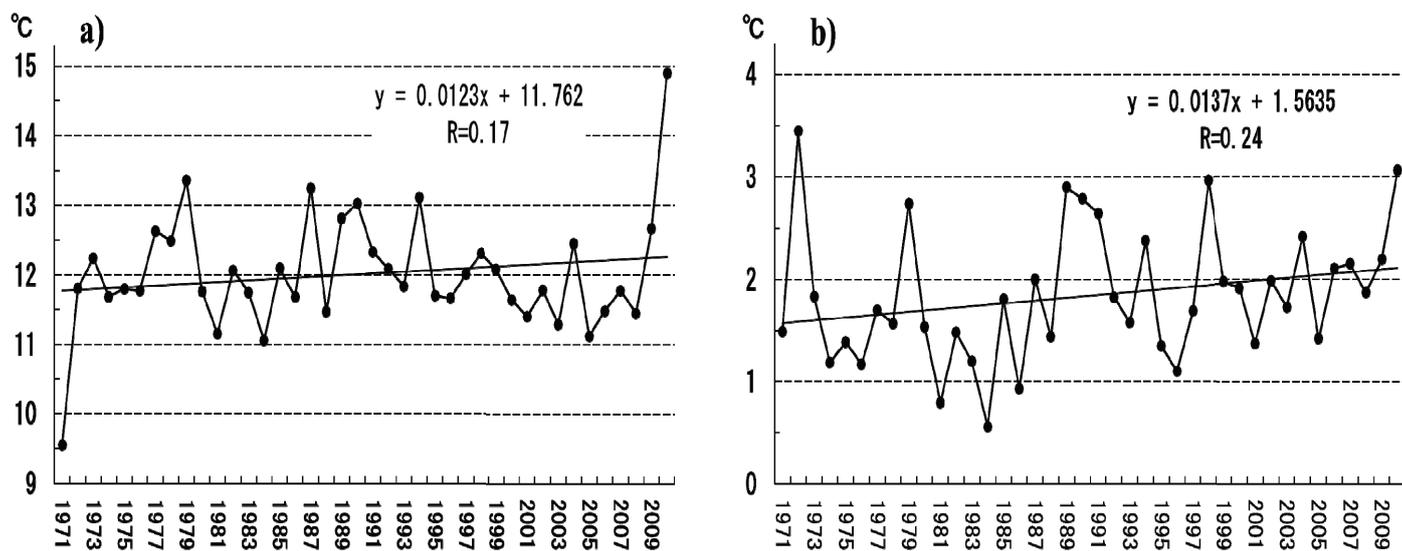


図2. 菅平実験センターにおける a) 日最高気温年平均と b) 日最低気温年平均の経年変化

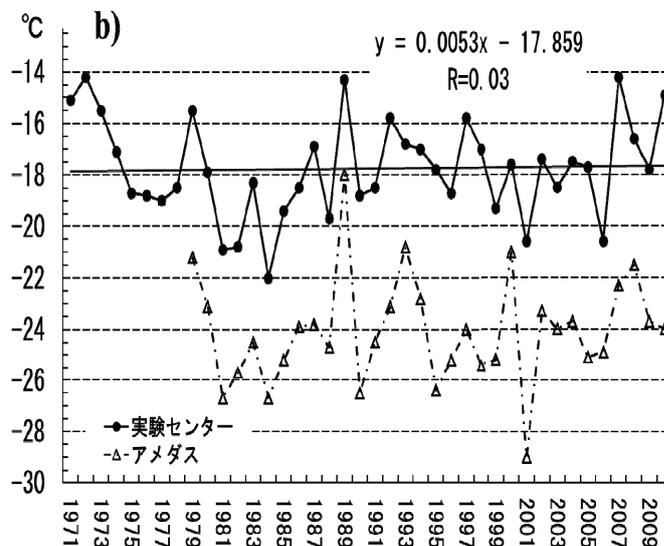
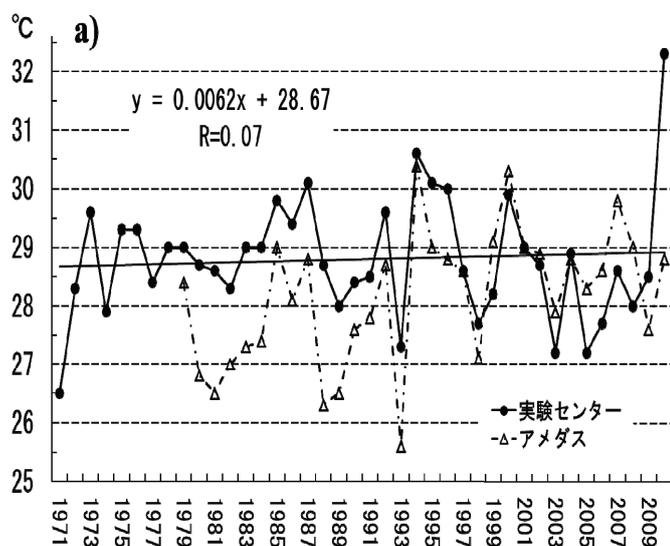


図 3. 菅平実験センターにおける a) 最高気温極値と b) 最低気温極値の経年変化

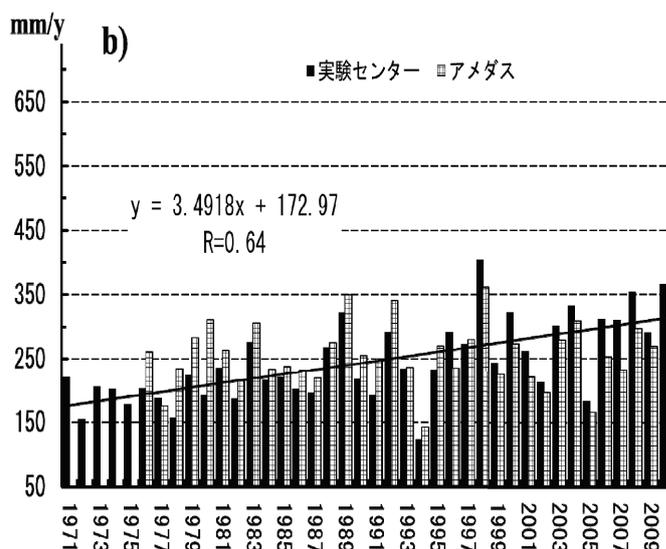
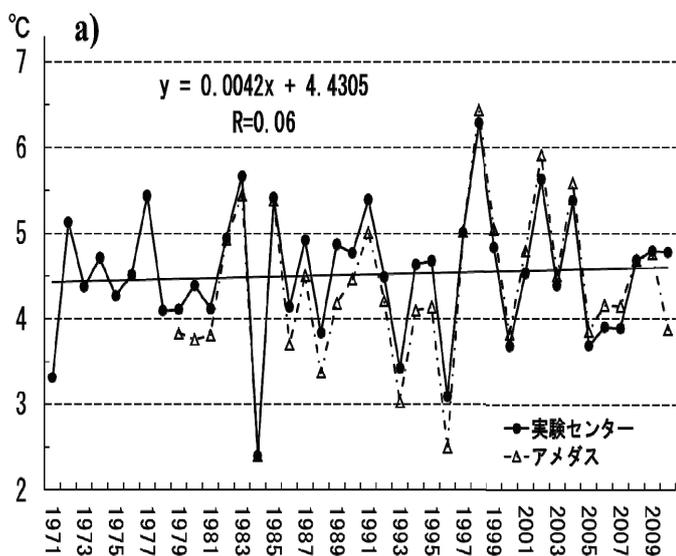


図 4. 実験センターおよびアメダスで観測された a) 春期の平均気温、および b) 積算降水量の経年変化。直線および一次回帰式 (相関係数 R) は実験センターでの傾向を示す

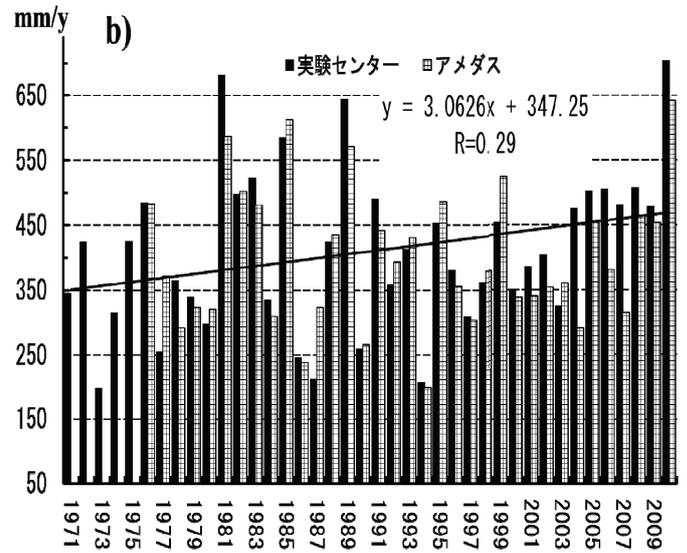
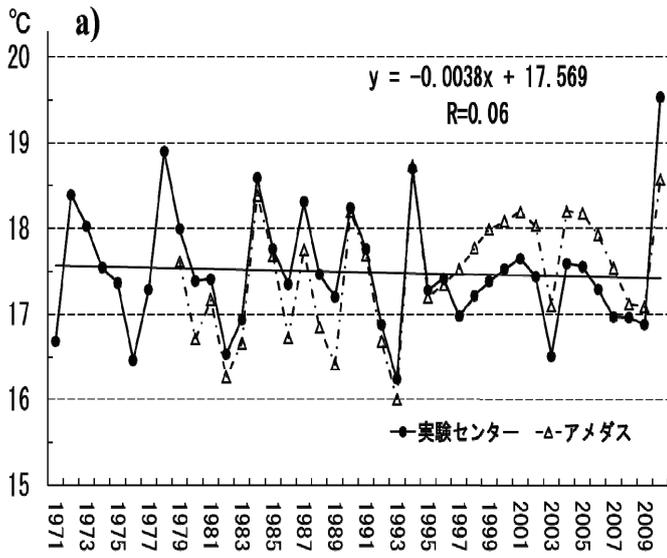


図 5. 図 4. と同様、但し夏期

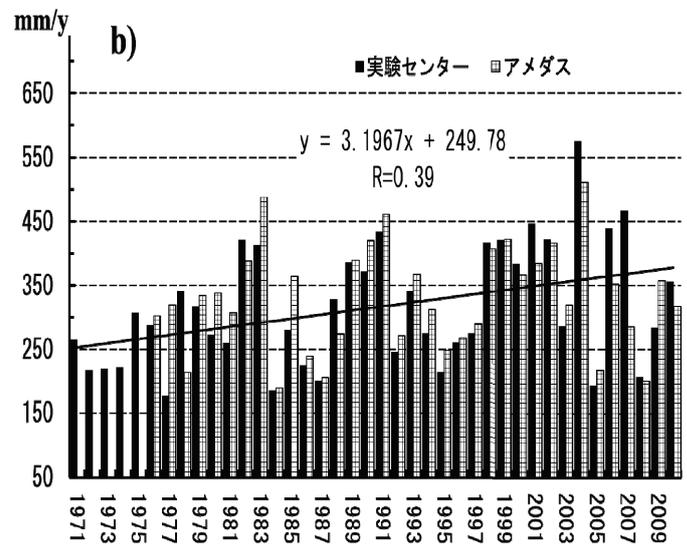
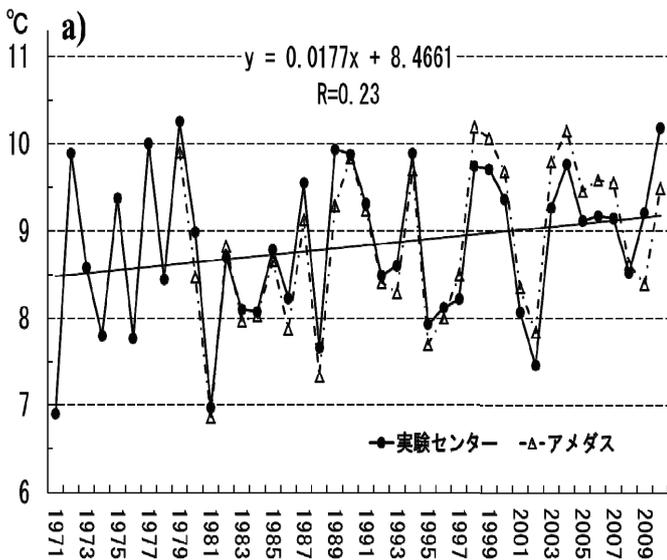


図 6. 図 4. と同様、但し秋期

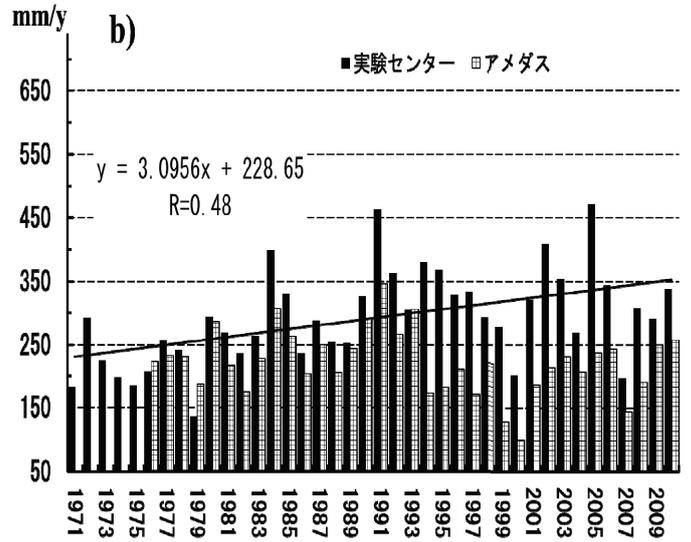
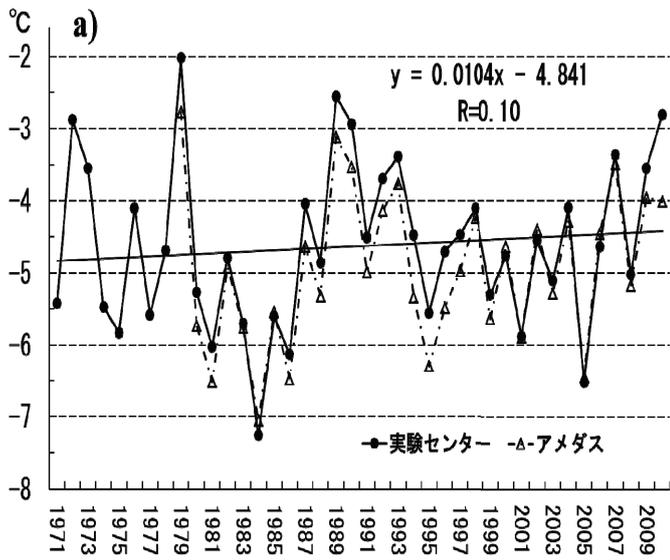


図7. 図4. と同様、但し冬期

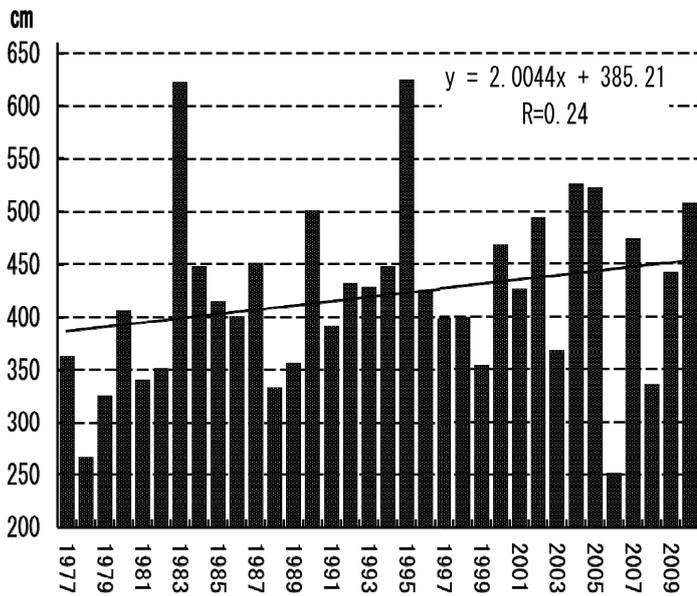


図8. 菅平実験センターにおける冬期積算降雪深

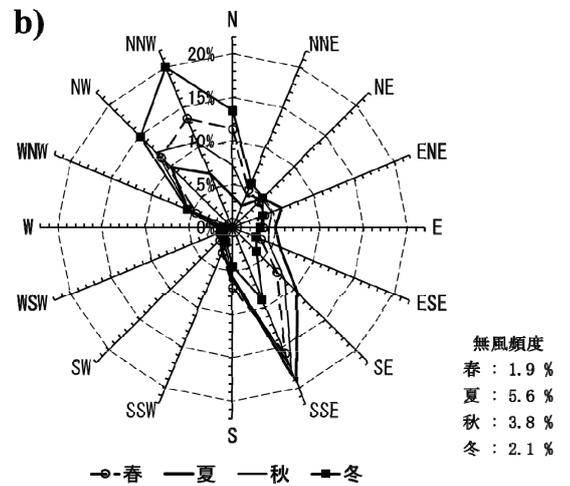


図9. a) 1998-2010年の月別平均風速および b) 季節別の風向頻度図

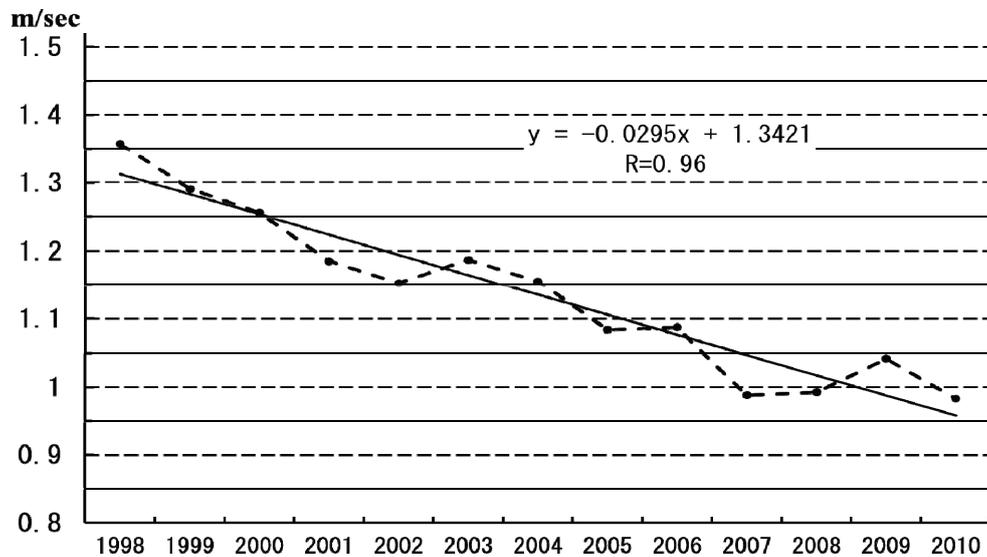


図 10. 1998 年以降の年平均風速変化

表 1. 1981-2010 年データに基づく菅平高原実験センターの気温・降水量平年値

	年間	春期 (3-5月)	夏期 (6-8月)	秋期 (9-11月)	冬季 (12-2月)
日平均気温 (°C)	6.5	4.5	17.5	8.8	-4.6
日最高気温平均 (°C)	12.0	10.5	22.8	14.3	0.4
日最低気温平均 (°C)	1.9	-1.0	13.3	4.5	-9.5
最高気温極値 (°C)	32.3	28.8	32.3	31.6	18.3
最低気温極値 (°C)	-22.0	-19.6	1.1	-13.0	-22.0
積算降水量 (mm)	1342.4	262.0	431.7	333.2	315.6
日最大降水量 (mm)	83.3	32.2	62.8	66.4	33.0

東日本大震災 被害状況と対策報告

化学系・工学系実験室における東日本大震災の被害とその後の対策

伊藤 伸一^{a)}、渡辺 秀夫^{b)}、小泉 陽子^{c)}、渡邊 ゆり子^{d)}、稲葉 正志^{e)}

^{a)} 筑波大学数理物質科学等技術室（物質工学域）、^{b)} 筑波大学数理物質系・数理物質科学研究科、

^{c)} 筑波大学数理物質科学等技術室（化学域）、^{d)} 筑波大学数理物質科学等技術室（物理工学域）、

^{e)} 生命環境系・生命環境科学研究科（生命共存専攻）

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

平成 23 年 3 月 11 日（金）におきた東日本大震災の被害とその後の対策について、化学系・工学系のいくつかの実験室について報告する。主な被害は、建屋については間仕切りの倒壊とその上の梁の落下、実験装置については実験台からの転落であった。これについては、転倒・落下防止の措置を行った。また、被害の少なかった部分についても述べ、その理由について考察する。

キーワード: 東日本大震災、震災被害、転倒防止、安全対策

1. はじめに

かねてから日ごろの地震対策には、ある程度取り組んできた。たとえば、薬品戸棚を壁に固定するなどの転倒防止策を施していた。この東日本大震災では、その地震対策がある程度効果を示したといえる。ただし、場所によっては建物の揺れが大きく、壁や梁が落ちるなどの被害とともに、実験装置の実験台からの転落などもあった。本報告では、第 1 エリア、第 3 エリア（数理物質系）を中心に、どのような被害があったか、その後どのような対策を講じたか、その一部を報告する。また、比較的被害が少なかった箇所について、その理由を考察した。

なお、本報告にある各実験室における対応職員は下記のとおりである。第 1 エリア自然系学系棟：小泉陽子、プロジェクト研究棟 4 階（403, 404）：渡辺秀夫、稲葉正志、伊藤伸一、第 3 エリア D 棟 4 階物理工学域技術職員室および A 棟 5 階化学実験室：渡邊ゆり子、伊藤伸一。

2. 第 1 エリアにおける被害とその後

地震発生時、小泉は第 1 エリア自然系学系棟 B 棟 5 階に居た。廊下を歩いていたら揺れが始まり、最寄りのベランダの扉を開けた。扉につかまったまま動けなくなった。実験室の方から薬品のビンがガシャガシャと割れていく音とボンベが倒れる音が聞こえた。収まってすぐに学生に避難するよう指示し外階段から避難した。避難していた駐車場で 2 度目の地震がきた。その時、薬品に水がかかることを恐れた専攻長が、元栓を止めるため施設部へ走った。それ以外の教員が、全学生の避難、薬品への引火の恐れおよび建物の状態を確認するため建物の中に入っていった。先生方の尽力でけが人も出ず、火災も起こらなかったことがせめてもの救いであった。

第 1 エリア自然系学系棟 C 棟 5 階の被害の様子（一部）を図 1a, 1b に示した。中央実験台上に固定されていた局所排気装置が落ち、下にあった実験台が崩壊した。局所排気装置の排気ダクト（塩ビパイプ）が落ちた（写真上）。図 1b は図 1a の反対側である。こちら側からも、実験台が崩壊している様子がわかる。4 脚の回転イスは転倒し、その右側には落下した局所排気装置の排気ダクト（塩ビパイプ）が見える。書類も床に散乱した状態であった。化学系ということもあり、有機溶媒など可燃性物質が多く保管されていたが、幸い火事にならずに済んだ。

局所排気装置については、この写真の他にも同様に実験台が押しつぶされたものがあり、その強度に問題があったと考えられる。



図 1a. 自然系学系棟 C 棟 5 階の被害
実験台が崩壊（写真提供：木越 英夫 教授）



図 1b. 図 1a の反対側から見た様子

図2には、同じ棟の5階バルコニーにある高圧ガスボンベ置き場の様子を示した。ボンベを固定していた鎖が外れ、ほとんどのボンベが転倒した。一部は配管してあった銅パイプが切断された状態であった。毒性のガスが無かったことと、外におかれていたために、ガス漏れによる被害はなかった。このバルコニーは南に面しており、地震の揺れは南北方向であったことから転倒しやすかったこともあるが、固定用の鎖が一本であったことも問題であった。

実験室における実験台と局所排気装置の復旧後の様子を図3a、3bに示した。実験台、局所排気装置共に新しくなり、震災時のような実験台の崩壊が無いよう、上部は天井から吊ることになった。また、写真では示していないが、実験台を床に固定した。高圧ガスボンベ置き場は、架台そのものは問題なかったため、ボンベ固定用鎖を上下2か所で固定することとした。



図2. 自然系学系棟C棟5階高圧ガスボンベ置き場



図3a. 新しい実験台と局所排気装置（上部）

なお、東北大学では高圧ガスポンペを固定する際、鎖とボンペの間に物を挟んでぐらつきのないようにしている。本学でもそのような対策が必要であると考えている。



図3b. 局所排気装置を天井から吊り下げた様子



図4. 復旧後の高圧ガスボンベ置き場

3. プロジェクト研究棟における被害とその後

プロジェクト研究棟の4階は、他の研究科・研究グループとともに使用しており、仕切りのない居室部分と、間仕切りで幾つかの部分に仕切られた実験室部分からなる。

3月11日は14時46分ころの最初の揺れとその後の余震が大きかったが、筆者（伊藤）はちょうどプロジェクト研究棟に行くところで外を歩いていたので、建屋内がどのように揺れたのかはわからない。しかし、数日後の余震の際にはその4階におり、その揺れの大きさに驚いた。まるでバネがはじけるように建屋が揺れた。建築基準を満たしていれば問題はないのかもしれないが、他の建屋の同じ階で比較すると実験室としては不向きな建屋であると感じた。地震発生時に4階に居た渡辺、稲葉はこのままでは危険だと感じ、建屋が揺れる中階段を下りて避難した。避難の際、他の研究グループで使用していた二酸化炭素ガスボンペが倒れ、それをまたいで避難し

た。その後、その倒れたボンベからガスが大量に漏れた。ボンベ立が固定されていなかったことが問題である。それについては、環境安全管理課による巡視でも指摘され改善を指示された。地震当日は、



図5. 梁の脱落
画面左側のケーブルに引っ掛かっている。後日、撤去した。



図6. 間仕切りの倒壊と実験台からの装置の転落



図7. 実験台から転落した液体クロマトグラフとパソコン

プロジェクト研究棟に限らず建屋内に入ることが困難な状況であった。週明けの月曜日に建屋内に入り、その惨状に絶句した。一番衝撃を受けたのは、建屋の一部崩壊である。図5はプロジェクト研究棟4階、403室と404室の間にある梁が外れて落ちかかっている様子を示している。梁の溶接部分が外れ、天井を這わせたケーブルに引っ掛かりかろうじて止まっている。404室と405室の間には同様の梁があり、その下に部屋を仕切る間仕切りがあったが、図6に示したように倒れた。このとき、倒れた間仕切り用の壁板は、近くに置いてあった戸棚や実験台の上に置いてあったガスクロマトグラフに寄りかかって止まっている状態であった。写真右側の実験台に置いてあった自動吸着量測定装置は転落し、左側の実験台に置いてあったマッフル炉が転落した(写真下端)。その他、転落したものは実験台に置いてあった液体クロマトグラフであった。図7に示したように、ほとんどすべての部分が転落し、破損した。また、近くに置いてあった有機溶媒の3Lのビンが落ちて破損したが、幸い火事にはならず済んだ。このように、プロジェクト研究棟の4階ではかなりの被害が出たが、一方でほとんど影響が無かった装置があった。それは、キャスター付きのラックに組み上げた実験装置である。これらは、地震の揺れによって本来の位置からはずれた場所にあったが、ラック上のガスクロマトグラフなどの重量物でも転落することが無かった。一台のラックにキャスターは4つ付いており、この内2つはブレーキ付きである。すべてのラックのキャスターのブレーキはかかった状態であったが、地震の揺れで移動した。しかし、ブレーキがかかりながらもラックが移動したことでかえって揺れを吸収し倒れなかったものと考えられる。また、これらのラックは天井から配管用のステンレスパイプと配線用ケーブルがつながれ、このことも転倒の防止に役立ったのではないかと考えられる。このように考えると、実験装置などを固定する場合、床や台などの固定も重要であるが、天井からの固定も有効であろう。この実験室の復旧後の写真を図8、図9に示した。図8は自動吸着量測定装置で、実験台に8ヶ所バンドを使用して固定した。また、装置を実験台に固定する際に、耐震用ゲルを間に挟みこんだ。



図8. 自動吸着量測定装置
実験台と装置の間に耐震用ゲルを挟み、バンドで実験台に固定

図9には、マッフル炉と恒温乾燥器を固定した様子を示した。自動吸着量測定装置と同様に実験台と装置の間には耐震用ゲルを挟み、バンドで固定した。図10には、液体クロマトグラフを固定した様子を示した。幾つかのユニットに分かれているが、マジックテープで一つにくくり、他の装置と同様に装置と実験台の間には耐震用ゲルを挟み、バンドで実験台に固定した。



図9. マッフル炉と恒温乾燥器の固定
装置と実験台の間に耐震用ゲルを挟み、バンドで実験台に固定



図10. 液体クロマトグラフの固定
各ユニットをマジックテープでまとめてくくり、装置と実験台の間に耐震用ゲルを挟み、バンドで実験台に固定

4. 第3エリア化学実験室における被害状況

第3エリアのA棟5階にある化学実験室(3A509, 510, 511)は、筆者が知る限り今回の大震災で比較的被害が少なかった。建屋については、数年前に大規模な耐震工事が行われていたこともあってか、大きな被害は見当たらなかった。3A511の実験準備室には試薬を保管する戸棚とガラス器具などの消耗品を保管する戸棚があるが、いずれも問題なかった。一部の薬品用の戸棚について、わずかに動いた形跡があった。図11に化学実験準備室の震災直後の様子を示した。写真に写っている戸棚はいずれも全く動いた形跡はなかった。これらは、戸棚の上の部分をL字金具で壁に固定し(図12参照)、上下段の間部分にも金属板で固定していたため(図13参照)、地震で揺れていたであろうけれども、倒れるようなことはなかった。また、写真からもわかるように試薬ビンで倒れたり割れたりしたものはなかった。これは、戸棚内部の各段に転倒防止用柵が設けられていたことと、試薬ビンが比較的密に収められていたためであると考えられる。



図11. 震災直後の化学実験準備室の様子
画面に向かって手前側にあった椅子が移動



図12. 震災前から戸棚の上部をL字金具で壁に固定(震災後に撮影)



図 13. 震災前から上段と下段の戸棚を金具で固定
(震災後に撮影)

5. おわりに

今回の大震災で被害の大きかったプロジェクト研究棟は、建屋自体が大きく揺れたことが原因の一つであると考えられる。わずか数百メートルしか離れていない建屋でも、これだけ被害に差があったことは驚きであった。しかし、建屋についてはすぐに耐震（免振）工事などを行うこともできないであろうから、少なくとも、そこを利用しているものが震災等への備えをしておくということが大切であると、筆者は強く感じた。また、実験室内のみならず、廊下等の共通部分については衛生管理者や安全管理スタッフによる巡視と改善指導が今後も重要であると考えており、教職員各位の協力をお願いして終わりの言葉としたい。

The earthquake disaster damage in chemical and engineering laboratory in the east Japan great earthquake and the security measures after that

Shin-ichi Ito^{a)}, Hideo Watanabe^{b)}, Yoko Koizumi^{c)}, Yuriko Watanabe^{d)}, Masashi Inaba^{e)}

^{a)} Technical Service Office for Pure and Applied Sciences (Division of Materials Science), ^{b)} Faculty of Pure and Applied Sciences (Division of Materials Science), ^{c)} Technical Service Office for Pure and Applied Sciences (Division of Chemistry), ^{d)} Technical Service Office for Pure and Applied Sciences (Division of Applied Physics),

^{e)} Faculty of Life and Environmental Sciences,

University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572 Japan

University of Tsukuba,

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

We report the earthquake disaster damage in the University of Tsukuba on March 11th in 2011 and report the security measures after that. The main damage was collapse of partition in a laboratory and fall of an apparatus from laboratory table. We also report a part which was not received disaster damage, and discussed the reason.

Keywords: East Japan Great Earthquake; Earthquake disaster damage; Fall prevention; Security measures.

震災後の職場巡視のための通路の 5S 及び安全確保、

書架・オフィス家具転倒防止についての調査

柏木 保人、岩原 正一

筑波大学総務部環境安全管理課

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

地震の際に起きる書架・収納棚等の転倒による避難障害、重量物転倒による受傷の防止のために、筑波大学本部等事業場で実施する職場巡視における東日本大震災後の改善点、転倒防止対策の指針・法令を調べ、震災対策を考察した。

キーワード：職場巡視、転倒防止、重量物、東日本大震災。

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分に三陸沖を震源とする国内観測史上最大のマグニチュード 9.0 の巨大地震が発生し、誘発された大津波が東日本太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした^[1]。この時、筑波大学では震度 6 弱の地震の影響により、幸い人的被害と倒壊等の大規模被害はなかったが、附属病院を含め、概ね、建物 191 棟、工作物 6 件、土地 69 か所、壁のひび割れ、コンクリート片の落下、金物の破損、ガラス、天井・間仕切り等の内装材の破損、照明器具及び給排水管等の損傷、床に段差発生、屋内の書架・棚等の転倒、実験機器の落下被害などが発生した^[2]。そこで、震災対策として、本報告では主に通路安全、屋内重量物に関する職場巡視の改善点について考察を加えた。

2. 地震の歴史

「地震は誰も予測し得ない突然の現象である」と地震学者が述べている。過去に起きた大地震について学び、教訓としておくことが必要と考えられる。筑波大学の位置する関東地方において起きた壊滅的な被害を与えた近世の大地震は、元禄地震（元禄六年、1703 年）、安政江戸地震（安政二年、1855 年 11 月 11 日夜）、関東大震災（大正十二年、1923 年 9 月 1 日昼）である。元禄地震と関東大震災（震源：相模トラフ）は、200 年余りに 1 度の頻度で発生する海溝形の巨大地震と言われ、安政江戸地震は、荒川河口付近を震源とする大規模の直下型地震であった^[3]。特に、関東大震災では、大地が波打つ海のように激しく揺れた様が記録されており、建物倒壊、大火などにより約 20 万名の犠牲者がでた悲惨な地震であった^[4]。これらの記録を観て大津波が悲惨な被害をもたらした東日本大震災では、地震動による建物被害については相対的に小さかったかどうか、

更に、その後の地震対策を震災史から多く学ばねばならない。

3. 気象庁震度階級

職場巡視を行う時に、以下の気象庁震度階級^[1]の概要（屋内状況）を理解しておくことは、転倒・落下のリスク評価に必要と考えられる。

震度階級	人の体感・行動	屋内の状況
0	ゆれを感じない。	—
1	屋内で静かにしている人で揺れをわずかに感じる人がいる。	—
2	屋内で静かにしている人の大半が揺れを感じる。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。
3	屋内にいる人のほとんどが揺れを感じる。	棚にある食器類が音をたてることもある。
4	ほとんど人が驚く、歩いている人のほとんどが揺れを感じる。	電灯などのつり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音をたてる。座りの悪い置き物が倒れることがある。
5 弱	大半の人が恐怖を覚え、物につかまりたいと感じる。	電灯などのつり下げ物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置き物の大半が倒れる。固定していない家具が移動することがあり、不安定な物は倒れることがある。
5 強	大半の人が物につかまらなると歩行困難、行動に支障。	棚にある食器類、書棚の本で落ちるものが多くなる。テレビが台から落ちることがある。固定していない家具が倒れることがある。
6 弱	立っていることが困難になる。	固定していない家具の大半が移動し、倒れるものがある。ドアが開かなくなることがある。
6 強	立っていることができず、はわないと動くことができない、揺れに翻弄され動くこともできず、飛ばされることもある。	固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多くなる。
7		固定していない家具のほとんどが移動し倒れたりし、飛ぶこともある。

4. 通路の安全確保の法令

通路の安全確保に関する規定は、労働安全衛生規則、消防法、建築基準法施行令などで規定されている。これらの法令のうち通路安全関連法令を以下にまとめる。

4.1 労働安全衛生規則

労働安全衛生規則では、通路の安全に関する事業者の責務についての規定としては第 540 条（通路）、第 541 条（通路の照明）、第 542 条（屋内における通路）及び第 543 条（機械間等の通路）がある。以下に列挙する。

第 540 条（通路）：事業者は、作業場に通ずる場所及び作業場内には、労働者が使用するための安全な通路を設け、かつ、これを常時有効に保持しなければならない。

2. 前項の通路の主要なものには、これを保持するために通路であることを表示しなければならない。

第 541 条（通路の照明）：事業者は、通路には、正常の通行を妨げない程度に、採光又は照明の方法を講じなければならない。ただし、坑道、常時通行の用に供しない地下室等で通行する労働者に、適当な照明器具を所持させるときはこの限りでない。

第 542 条（屋内における通路）：事業者は、屋内に設ける通路については、次に定めるところによらなければならない。

- 一 用途に応じた幅を有すること。
- 二 通路面は、つまずき、すべり、踏抜等の危険のない状態に保持すること。
- 三 通路面から高さ 1.8 メートル以内に障害物を置かないこと。

第 543 条（機械間等の通路）：事業者は、機械間又はこれと他の設備との間に設ける通路については、幅 80 センチメートル以上のものとしなければならない。

4.2 消防法

消防法では、以下に通路等の避難障害防止の規定がある。

消防法第 8 条の二の四：学校、病院、工場、事業場、興業場、百貨店、旅館、飲食店、地下街、複合用途防火対象物その他の防火対象物で政令で定めるものの権原を有する者は、当該防火対象物の廊下、階段、避難口その他の避難上必要な施設について避難の支障になる物件が放置され、又はみだりに存置されないように管理し、かつ、防火戸についてその閉鎖の支障になる物件が放置され、またはみだりに存置されないように管理しなければならない。

4.3 建築基準法施行令

大学建物の基準値ではないが建築基準法施行令第 119 条（廊下の幅）があり、廊下幅の最低基準が定められている。

廊下の配置、廊下の用途	両側に居室がある廊下	その他の廊下
小学校、中学校、高等学校又は中等教育学校における児童用又は生徒用のもの	2.3 m	1.8 m
病院における患者用のもの、共同住宅の住戸若しくは居室の床面積の合計が 100m ² をこえる階における共用のもの又は三室以下の専用のもをを除き居室の床面積の合計が 200m ² をこえる階におけるもの	1.6 m	1.2 m

5. 地震対策指針

5.1 東京消防庁の耐震指針

東京消防庁・家具類の転倒防止対策に関する調査研究委員会が、10 種類の転倒防止器具の試験を行った結果に基づき転倒防止指針が作成され、公表されている^[5]。

5.2 建築設備耐震設計・施工指針

国土交通省国土総合政策技術研究所、独立行政法人建築研究所監修による水槽、配電盤などの重量物の「あとアンカー施工」の耐震設計・耐震計算の指針など建物の耐震性（耐震クラス）、建物の高さ（フロア階数）ごとの地震力を考慮して「あとアンカー施工」する指針が作成されている^[6]。

5.3 実験施設の整備等における安全衛生対策の留意点について

文部科学省・安全衛生に配慮した実験施設の整備等に関する検討会が、国立大学法人等の実験施設における安全衛生対策を推進するための留意点を指針として公表している。実験機器、実験台、薬品棚の耐震対策が示されている^[7]。

6. 書棚転倒の初期リスクアセスメント

6.1 書棚の重量

書棚 1 段に A4 版雑誌・書籍 1 列を 1 m 密集して置くと、書棚 1 段の重量は約 40 kgw になる。仮に、5 段の書棚に A4 版雑誌・書籍を密集して置けば、書棚一つは 200 kgw の重量物になる。

6.2 書棚転倒による衝突力

書棚が転倒して人に衝突したときの衝突力は棚転倒の回転力と棚重量の分力の和になる。そこで、仮に高さ 2.3 m、5 段の書棚に A4 版雑誌・書籍が密集収納されている場合、書棚質量 $M = 200 \text{ kg}$ になり、重心の高さ $h = 1.5 \text{ m}$ として、瞬間的（1 秒間を仮定）に $\theta = 45$ 度転倒したときに人に衝突するとすれば、衝突の速さ V は、

$$V = 2 \times h \times \pi \times \theta / 360 = 2 \times 1.5 \times \pi \times 45 / 360 \\ \approx 1.2 \text{ m/s}$$

書棚の運動量の変化率が転倒の回転力 f になるので

$$MV_2 - MV_1 = f \times \Delta t \\ M = 200 \text{ kg}, V_2 = 1.2 \text{ m/s}, V_1 = 0 \text{ m/s}, \Delta t = 1 \text{ s} \\ f = 240 \text{ N} = 24.5 \text{ kgw} (\because 1 \text{ kgw} = 9.8 \text{ N})$$

ただし、転倒回転中（ $\Delta t = 1 \text{ s}$ ）に地震の加振力の影響はないものとする。図 1 に示したように書棚重量の分力： $M \times g \times \sin \theta = 200 \text{ kgw} \times 1/\sqrt{2} = 141 \text{ kgw}$ （ $\because g$ ：重力加速度、 $\theta = 45$ 度）

従って、人に衝突した瞬間にかかる力つまり衝突力は、 $141 \text{ kgw} + \text{kgw} = 5.5 \text{ kgw}$ になる。

このようにいくつかの仮定が含まれるが、衝突したときに大きな傷害を受け、人では支えられず書棚に挟まれることになる。書棚転倒・挟まれにより最大

200 kgw の圧迫力を受け致命的状況が予測される。なお、地震の発生確率はすべての場合で同じとして衝突力でリスク評価するものとした。

書棚転倒によるリスクの低減措置を挙げると以下の対策が考えられる。

- ①重量物のハザード調査を行い、室内の重量物の分布を把握し、想定リスクを評価して速やかな避難ができるようにしておく。
- ②室内の書棚はあまり高くしない。
- ③アンカー固定をしない書棚の横連結は重量増加に伴いリスクが増大するので、連結による重量増加に見合ったアンカー固定を行う。
- ④室内の対面する壁の両側に書棚を配置するときは両側の書棚上部に互いに直角方向の堅牢な支持梁（棒）を設ける。

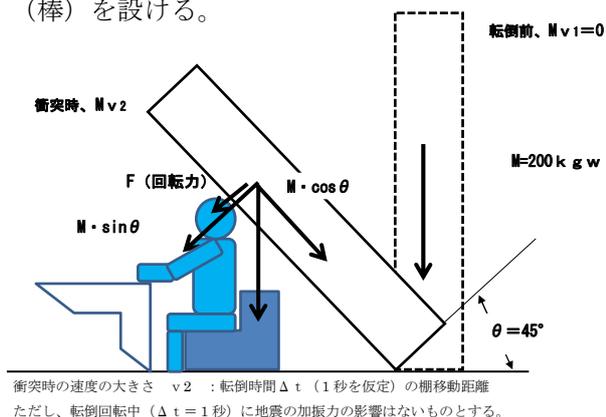


図 1. 書棚転倒のリスクアセスメント説明図

7. 転倒防止の効果

重量物である大型の書架の転倒防止効果进行评估する。図 2 は壁収納棚として間仕切り壁に固定されていたが、ボード用アンカーが抜けて壁から離脱・移動した例である。しかし、上部が天井と接しているために転倒は起きなかった。



図 2. (8 階建 6F)

図 3. (3 階建 3F)

図 3 は、1 段に左右 2 列に雑誌・書籍を並べた大型の書架であり 1 段が約 100~200 kgw になり、5~7 段の約 1000 kgw 程度の重量書架である。各書架は縦方向の支持梁で連結されて転倒防止措置はなされているが、横方向の支持梁がないために書架フレームの鋼材が降伏点以上の地震力で変形している。

8. 転倒防止の固定の事例



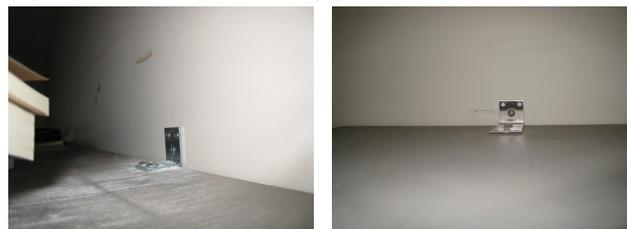
(A) 支持梁の縦方向増強

(B) 伸縮棒の多数設置



(C) 床アンカー固定例

(D) 支持梁の横方向増強



(E) ボード用アンカーを数か所設置した例

図 4. 震災後の転倒防止対策の補強例 (7, 8F)

8 階建ての建物において、震災後に大型書架に (A) 支持梁を縦方向に増強した例、(B) 転倒防止伸縮棒（突っ張り棒）を多数個設置した例、(C) 床アンカー固定を増強した例、(D) 支持梁を横方向に増強した例、(E) ボード用アンカーを数か所設置した事例を図 4 に示した。

9. 結言

研究室（居室）のハザードとして重量物の重量を調査して、リスク評価を行い、室内の重量物に対する危険感受性を高めておくことが大切と思われる。また、建物の高さにより地震力が異なることも考慮した重量物の固定方法を選択することが大切と思われる。また、通路に関しては避難障害となるものを撤去して不安全状態をなくしておくことが地震による人的被害を未然防止する上で必須のことである。

参考文献

- [1] 国立天文台編、平成 24 年理科年表（丸善出版）
- [2] 岩原正一、大学等環境安全協議会第 27 回技術分科会発表、筑波大学における東日本大震災の被害状況と職場巡視の成果と課題（平成 23 年 7 月 28 日、富山大学）
- [3] 都司嘉宣 著、千年震災—繰り返す地震と津波の歴史に学ぶ、ダイヤモンド社（2011）。
- [4] 吉村昭 著、関東大震災、文春文庫、文藝春秋（2004 年 8 月）
- [5] 東京消防庁・家具類の転倒防止対策に関する調査検討委員会、オフィス家具類・一般家電製品の転倒・落下対策に関する指針（平成 18 年 3 月）
<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-bousaika/kaguten/okt.html>
- [6] 国土交通省国土総合政策技術研究所、独立行政法人建築研究所監修、建築設備耐震設計・施工指針 2005 年版編集委員会、建築設備耐震設計・施工指針 2005 年版、日本建築センター（平成 17 年 5 月）
- [7] 文部科学省・安全衛生に配慮した実験施設の整備等に関する検討会、実験施設の整備等における安全衛生対策の留意点について—国立大学法人等の実験施設における安全衛生対策の推進—（平成 22 年 3 月）
http://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/shuppan/1292180.htm

Improvement of workplace inspection for preventing upset of furniture in the office by earthquake and clearing heavy things in the passage for safety

Yasuto Kashiwagi, Shoichi Iwahara

Office of Environment and Safety Management, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

We propose an improvement of workplace inspection to prevent upset of furniture in the office by earthquake and to clear heavy things in the passage for safety at the University of Tsukuba. We introduce official guidelines to prevent damages by earthquake, and the related law for safety of the passage. We attempt to assess risk of heavy things in the office of university. We explain the damages and the effect of fixing furniture to prevent the upset of furniture in the office by the Great East Japan Earthquake (May 11, 2011). As a result, workplace inspection must be improved to assess risks in terms of heavy things at the University of Tsukuba, and to instruct the method for fixing them to prevent damages by earthquake .

Keywords: workplace inspection, upset of furniture, risk of heavy thing, earthquake.

医学安全管理室の東日本大震災に対する取り組み

渡邊 祐子^{a)}、新里 寿美子^{a)}、櫻井 秀子^{a)}、
大野 良樹^{a)}、磯部 和正^{b)}

^{a)} 筑波大学医学系技術室、^{b)} 筑波大学医学医療系（医学安全管理室室長）

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、つくば市は震度 6 弱の揺れに襲われ、筑波大学のキャンパスにも大きな被害が生じた。医学地区でも建物壁の破損、漏水、研究機器の破損などがあり、研究教育活動に甚大な支障を来した。

医学安全管理室では、地震直後からポスターやお知らせ等で、安全のための注意を喚起した。また、被害・損壊状況調査も行い、現状を確認した。避難通路の確保、高圧ガスボンベの管理、機器・家具の転倒防止が、安全のための課題だと思われる。



引き出しが全部飛び出す（6階）

キーワード：東日本大震災、研究教育機関、安全管理、余震対策

1. 医学地区における被害状況

（医学系学系棟 平成 23 年 3 月 13～16 日撮影）



DNA 解析装置は台ごと倒れる（8階）



実験台の棚は全部倒れ、物が散乱（8階）



実験室内のキャビネットなどが床上を移動してドアを塞ぎ、室内へ入ることができない（8階）



天井からの水漏れ (8 階)



冷蔵庫内で物品が破損し、液状のものが
漏れ出している (3 階)



PS (パ イ プ ス)からの水漏れ (1 階)



ボンベは全部倒れる (8 階)



教員オフィス：家具が倒れ、
棚の物品は全部落下 (8 階)



非常口を塞ぎかけている (5 階)



本類が床に落ちた程度 (1 階)

2. 地震直後の対応

地震直後の週に、破損した試薬びん、転倒した高圧ガスボンベ、局所排気装置（ドラフト）、実験排水流し、生活排水流し使用などへの情報提供をし、対応に当たった。注意喚起のポスターを掲示し、個別の調査は、医学安全管理小委員会委員宛てに実施した。

【注意喚起のポスター】

医学安全管理小委員会委員各位
医学地区利用者各位

地震災害への対応について

下記事項に注意して、対応して下さい。

- 破損した試薬について（有機溶媒、毒劇物）：
有機溶媒の場合は可能な限りポリ瓶等に回収し、粉末の場合はビニール袋等により密封し、内容物の名前、連絡責任者（所属・氏名・連絡先）を明記し、医学安全管理室（学系棟333室）へ提出して下さい。
スタッフが立ち会いの上、受け付けます。
取り扱いが不明の場合は、ご相談下さい。
- 高圧ガスボンベが転倒していた場合：
栓を閉め、整流器をはずし、ストッパーをあてて、床に置いたままにして下さい。
- 実験排水流し、生活排水流しは共に使用可能です。
通常の使用方法を守って下さい。
実験排水流しへは、試薬を絶対に流さないで下さい。

平成 23 年 3 月 15 日
医学安全管理室

回収した試薬びん等



【ドラフト風量調査】

ドラフトについては、震災による損傷のおそれがあるため、実験を開始する前に風量測定を実施し、結果を集計した。24の実験系グループより調査の回答があった。1グループについて、ドラフトのダクトはずれと異音の発生があり、医学系支援室へ連絡した。

医学安全管理小委員会委員各位
医学地区利用者各位

実験グループへお願い

地震による被害の後片付けにご多忙のことと思います。
下記事項につき、対応お願いします。

- ドラフト（局所排気装置）の自主点検を実施して下さい。
地震により、装置が損傷を受けているおそれもあります。
動作の確認と、風量を測定して下さい。
* ドラフト装置のあるグループは、別紙「ドラフト風量結果報告および使用状況調査」に記録し、医学安全管理室メールボックスへ提出して下さい。
* 風速計は医学安全管理室（231室）で貸し出しています。風速計がない場合は、線香の煙や軽いリボンなどを使用して動作確認はできます。
- 不要な高圧ガスボンベは、業者へ返却して下さい。
* 鈴木商館、巴商会など
- 実験排水流し、生活排水流しは共に使用可能です。
通常の使用方法を守って下さい。
実験排水流しへは、試薬、調整試薬、実験廃液を絶対に流さないで下さい。

平成 23 年 3 月 22 日
医学安全管理室

月・木：PHS
火・水：PHS
金（午後）：PHS

ドラフト風量結果報告および使用状況調査

（平成 23 年 3 月実施）

提出先：医学安全管理室メールボックス
提出締切：平成 23 年 3 月末

- グループ名： _____
- 安全管理小委員会委員名： _____（連絡先： _____）
- ドラフト設置場所： _____
- 測定値（参考：有機溶剤に対する制御風速は 0.4m/s）

_____ m/s	（設置場所： _____）	測定年月日： _____
_____ m/s	（設置場所： _____）	測定年月日： _____
_____ m/s	（設置場所： _____）	測定年月日： _____
_____ m/s	（設置場所： _____）	測定年月日： _____
_____ m/s	（設置場所： _____）	測定年月日： _____
_____ m/s	（設置場所： _____）	測定年月日： _____
_____ m/s	（設置場所： _____）	測定年月日： _____

* 測定値が低い場合 医学会計への連絡の有無 **連絡済み**： 未連絡

- ドラフト利用目的
（使用する溶媒名など、具体的に記入して下さい）
- ドラフト使用頻度

1) 常時使用している
2) 週に 2~3 回
3) 月に 2~3 回
4) 半年に 2~3 回
5) 年に 2~3 回
6) その他（ _____ ）
7) 使用していない

以上

【損害状況調査（筑波大学医学地区）】
 遺伝子組み換え体、感染性微生物、機器、器具、
 試薬、廃液、高圧ガスボンベなどの被害・損壊につ
 いて調査した。調査報告に従い、現状を確認した。

1. 被害状況調査	東京医科大学震災調査（筑波大学医学地区） 余震対策小委員会委員名
① 遺伝子組み換え体、感染性微生物、機器、器具、試薬、廃液、高圧ガスボンベなどの被害・損壊調査委員会委員報告	1. 遺伝子組み換え体調査を行った（ハイ・イイノ） ハイの場合：地震により被害・損壊があった（ハイ・イイノ） 調査等の対応を行った（ハイ・イイノ）
② 調査報告に詳しい、震災被害報告（医学系安全管理部）	2. 感染性微生物の被害調査を行った（ハイ・イイノ） ハイの場合：地震により被害・損壊があった（ハイ・イイノ） 調査等の対応を行った（ハイ・イイノ）
2. 長尾、孝太郎 ① 遺伝子組み換え体、感染性微生物：オートクレーブにより滅菌処理	3. 有機物試薬・有機物の被害調査を行った（ハイ・イイノ） ハイの場合：地震により被害・損壊があった（ハイ・イイノ） 調査等の対応を行った（ハイ・イイノ）
② 破壊した試薬（有機物試薬、試薬等）など：ボンベ保管庫より取り出し、 汚染物の処理、保管庫に保管品を戻すの対応にて、医学系安全管理部（3号 9号室）に届出	4. 高圧ガスボンベの被害調査を行った（ハイ・イイノ） ハイの場合：地震により被害・損壊があった（ハイ・イイノ） 対応等の対応を行った（ハイ・イイノ）
③ 転倒防止対策：倉庫に備えて、再度突っ張り棒などの転倒防止の確保 が	5. 機器・器具の被害調査を行った（ハイ・イイノ） ハイの場合：地震により被害・損壊があった（ハイ・イイノ） 調査等の対応を行った（ハイ・イイノ）
3. 連絡網の強化 地震発生時の連絡網を強化し、被災した場合は即座に連絡し、必要に応じて 支援を行うこととする。医学系安全管理部（3号9号室） 医学系安全管理部（3号9号室、9月15日現在） 医学系安全管理部（2017）	6. 機器の被害調査を行った（ハイ・イイノ）
	7. その他（特定済み）

3. 震災から学ぶ医学系学系棟安全管理の課題

【非常階段出口付近の通路の閉塞】

実験室外の通路にロッカーや書棚が設置してあり、今回の地震では位置がずれたり、引き出しが飛び出したり、転倒したりした例が上層階で数カ所あった。これらの場所は、これまで明らかに危険であると認識し、対策をとるべきであると考えていたところである。転倒防止器具を取り付けるだけでは不十分な場合もあった。特に、非常階段出口付近にロッカーや書棚を設置するのは、退避路を塞ぎ大変危険であるので、今後禁止するべきである。

【高圧ガスボンベの転倒と破損】

ボンベの転倒は多くの研究室で見られた。細胞培養等で使用中の炭酸ガスボンベが転倒し整流器が破損したためガスが出たままになっていた例もあった。この例では、2本のボンベを古い1本チェーンの固定器に固定していたが、チェーンの中央固定金属部分が錆びており、震動で固定部分が破損し外れたためボンベが滑るように床に叩き付けられ、接続していた整流器がともに衝撃で折れたものと推測できる。確かに、2本のチェーンで固定することの必要性を教えてくれる例である。また、市販のボンベ固定器具をそのまま床に置いて背の高い金属製のボンベを安定に保持するには充分ではない。ボンベとともに固定台が転倒している例が多かった。床や壁にボンベ固定器具を固定するのは簡単ではない。倒れにくいボンベ固定器具の開発と、簡便に固定する良い方法を工夫する必要がある。

【各種転倒防止器具の効果】

棚などと天井の間を固定する「震度7に耐えると称する市販の突っ張り棒」は今回の地震に対してかなりの防御効果を発揮した。ただし、重い書物やガラスプレパレートなどを収納した棚などを安定に保持するには、突っ張り棒の数を重さに応じて2本以上使用する必要がある。また、ロッカーと天井との間隔が広い場合には突っ張り棒の効果も限定されることがわかる。

背の高い書棚間を金属のアームや器具で連結する方法は耐震効果があった。

また、毒物劇物保管庫をL字金具で床に固定した例では全くずれや転倒がなかった。保管庫の固定は強く推奨されているが、工作室等の支援が必要であり、実施例は現在それほど多くない。

4. 震災後の教訓を踏まえた活動

大学施設内での危険を可能な限り小さくするために、余震対策を進めるとともに、今後の職場巡視体制を強化する。

【余震対策ポスター】

震災直後に記録した被害状況の画像は数多かったが、代表的な被害例で、なおかつ、その部署が具体的に特定されないようなものを選定して余震対策のポスターを作成した（A3サイズ）。医学系学系棟の場合、低層階と高層階では揺れの強さが異なり、被害・損害の状況も場所によって大きな隔たりがあった。地震発生時にどこにいたかで、地震から受けた物・心への影響は個人差があると思われる。ポスターによって地震の恐ろしさを皆で共通に認識し、余震対策への心構えとした。ポスターは、医学系学系棟内のみでなく医学群棟や医学図書館へも掲示して、医学地区の教職員および学生へ広く注意を促した（平成23年12月現在も掲示中）。

平成23年5月

3.11 東日本大震災

The Great Eastern Japan Earthquake

医学地区での被害の一例（3月13～16日撮影） Medical Area (March 13-16)

実験台の棚が倒壊

落下し、床に散乱した物品

固定台と転倒した高圧ガスボンベ

避難路を塞ぐロッカー類
（非常階段出口付近）

整流器の口金が折れ、炭酸ガスが噴出

余震が続いています。
Aftershocks continue to rattle Tsukuba.

安全のために、私達が今すぐできること
Do the following three points for survival, just right now!

1. 転倒の防止 **棚、家具等の固定!!**
Fix the shelves and furniture to the ceiling and the floor!!
2. 避難経路の確保 **廊下に不要なものを置かない!!**
Do not put waste on the passage!!
3. 高圧ガスボンベの管理 **不要なボンベは直ちに返却!!**
Return unnecessary gas cylinders to the trader!!

医学部門施設・設備委員会
医学安全管理室(学系棟)

【職場巡視体制】

震災では機器や家具が転倒し、避難通路を塞いでいる状況が見られた。職場巡視では、通路に物品を置かないこと、家具等を固定し転倒防止措置をとることについて、これまで以上に留意をして進めていきたい。高圧ガスボンベについても、固定方法を工夫するとともに、必要量以上のボンベを研究室内に保管しないことを推奨する。

転倒防止処置が有効だった例



揺れのため金具は歪んだが、転倒は免れた（工作室）



金具で床に固定された保管庫（臨床系実験室）



金属アームによる棚の連結（工作室）

Efforts by Medical Area Safety Management Office to deal with the Great East Japan Earthquake

Yuko Watanabe^{a)}, Sumiko Nissato^{a)}, Hideko Sakurai^{a)}
Yoshiki Ohno^{a)}, Kazumasa Isobe^{b)}

^{a)} Technical Service Office for Medical Sciences, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

^{b)} Faculty of Medicine, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

During the Tohoku Earthquake and Tsunami that struck on March 11, 2011, the City of Tsukuba was shaken by weak level 6 vibrations (according to the Japan Meteorological Agency seismic intensity scale). University of Tsukuba (Tsukuba campus) was also heavily damaged. Medical facilities had damage to walls, water leaks, and damaged research equipment, and research and educational efforts were severely impacted.

Medical Area Safety Management Office began displaying posters and notices immediately following the earthquake and the Office called attention to safety precautions. The Office also surveyed the extent of damage and determined the current state of facilities and equipment. Access to evacuation routes, control of compressed gas cylinders, and preventing equipment and furniture from falling are issues that need to be addressed to ensure safety.

Keywords: Great East Japan Earthquake, research and educational institution, safety management, aftershock countermeasure

生命環境科学周辺における東日本大震災での被害例と

その後の対応

飯島 英夫^{a)}、木澤 祥恵^{b)}、清水 雅浩^{c)}、土屋 泰孝^{d)}、山末 亜貴^{b)}、和田 睦子^{b)}

^{a)} 筑波大学生命環境科学等技術室（陸域環境研究センター）、^{b)} 筑波大学生命環境科学等技術室（応用生物化学グループ）、^{c)} 筑波大学生命環境科学等技術室（地球科学グループ）、

^{d)} 筑波大学生命環境科学等技術室（下田臨海実験センター）

^{a) b) c)} 〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

^{d)} 〒415-0025 静岡県下田市 5 丁目 10-1

概要

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、従来の耐震措置が功を奏した例がある半面、想定された状況を超える事態が起こり被害を受けた例もあった。今回の被害状況例とその対応について整理を行い、各部署での今後の安全対策に関する問題点、改善点、今後の課題などについて、生命環境科学等技術室の各部署の技術職員の目線でまとめたものを報告する。

キーワード: 生命環境科学研究科、東日本大震災、震災被害例、震災被害対応

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、幸い人的被害には及ばなかったものの本学でも各部署で大きな被害を受けた。従来の耐震措置が功を奏した例がある半面、想定された状況を超える事態が起きて被害を受けた例もあり、被害例とその対応について現場の状況をまとめ、今後の安全対策に反映させる必要があると考えた。

今回は生命環境科学等技術室所属の技術職員でそれぞれの担当部署のデータをまとめ、比較することで相互の情報交換を行い、それぞれの現場における今後のより効果的な安全対策を考える手掛かりとしたいと考えている。

2. 被害状況とその後の対応

2.1 自然学系棟 A 棟・B 棟（地球科学グループ）

1. A 棟・B 棟では、廊下、実験室の壁に多数の亀裂が入った。（図 1）建物の外壁では、自然学系棟 A 棟は外壁工事直後のためか破損はなかったが、自然学系棟 B 棟は外壁タイルの脱落や亀裂等が多数あった（図 2）。

復旧に関しては、2011 年 12 月より工事が始まり、順次対応がなされる予定である。



図 1. 壁の亀裂



図 2. 外壁タイルの脱落

2. 廊下に保管してあった岩石・化石試料が保管箱に収納され廊下に積み上げられていたため、廊下全体に崩れ、試料が散乱し、一部が避難路を塞ぐ事になった。震災後に、廊下にあった試料や物品をほぼ撤去し、避難路を確保した（図 3）。



図 3. 試料の散乱および試料撤去後

3. 自然学系棟 A 棟 A102 図書資料室内のスチール製マップケースおよび一部の書棚が倒壊した。撤去を行った後に、新しい物品に入れ替えを行った。

4. 自然学系棟 A 棟 A202 X 線解析室において、X 線回折装置 1 台の防 X 線カバーが脱落した。修理が可能だったため、分析機器メーカーへ修理の依頼を行い、稼動するように手配した（図 4）。



図 4. 防 X 線カバー脱落及び修理後

5. 前記以外の各部屋においては、平積みしていたものや棚の上のものが落下した。また、棚の扉を閉めていなかったため内部のものが床に落ちたりガラス製実験器具の一部に破損があった。しかし、スチール製などの棚、ロッカー、装置などは多少動きはしたが、倒壊することはなかった。また、薬品の容器の破損等もなかった。震災後の対応としては、破損した転倒防止器具のやり直しや棚等の配置換えなどを行った。

2.2 生物農林学系棟（応用生物化学グループ）

生命環境科学研究科では建物の階層によって被害の状況が大きく変わっていた。人身被害はなかったが、高層階では書庫や薬品棚の転倒、実験機器や器具の落下も多くあった。被害直後の写真を撮っていないこともあり、多くの事例を紹介できないが、いくつかの例を紹介する。

1. 生物農林学系棟 B 棟 4 階居室において、書庫に固定金具 2 個を設置していたことにより転倒を免れた例である（図 5）。1 個の金具は外れてしまったが、残り 1 個で転倒を免れた。その後、改めて金具 2 個での固定を行った。



図 5. B 棟 4 階居室の転倒を免れた書庫

2. 生命環境学群棟 2B 棟高層階（4 階以上）では、実験台が動いたためガス管や水道管に被害があったとの報告があった。低層階（3 階以下）では実験台が動くこともなく比較的被害は少なかったが、生命環境学群棟 2B 棟 3 階の学生実験室での転倒落下被害の中から 3 例を紹介する。

恒温器が転倒落下した例である（図 6）。設置していた机に固定をしていなかった。その後専用の架台を購入し固定した。

器具棚に立てて保管したメスシリンダーがすべて転倒し、一部破損した例である（図 7）。ただしガラス戸があったため、外には出てこなかった。これは、上部のメスシリンダーをカゴに横倒しにして保管した。

器具倉庫の中のスチール棚の上部に置いてあったロートの箱とガスコンロが落下した例である（図 8）。スチール棚は未固定で落下防止対策をしていなかったが、今回落下したものはこれのみだった。その後、器具倉庫の中のスチール棚すべてに転倒防止の金具を設置し、棚の上部については紐で落下防止対策をした。



図 6. 2B 棟 3 階学生実験室の落下した恒温器と改善例



図 7. 2B 棟 3 階学生実験室倒れたガラス器具と改善例



図 8. 2B 棟 3 階学生実験室落下した器具箱と改善例

3. 生命環境学群棟 2A 棟 5 階の教育学系図書室では、連結した書架がすべて転倒した（図 9）。書架はすべて未固定であった上、上部で天繋ぎバー 1 本で連結されていたため連鎖的に転倒し、出入口をふさいでしまった。その後、専門業者に依頼して既存の書架をすべて取り除き、新たに書架を購入した。単式書架については壁固定及び床固定を行い、複式書架については床固定及び天繋ぎバーで相互固定した。



図 9. 2A 棟 5 階教育学系図書室転倒した書架と改善例

2.3 総合研究棟 A 棟（応用生物化学グループ）

1. 総合研究棟 A 棟では、廊下、実験室の壁に多数の亀裂が入った。6 階、7 階の上層階では天井ダクト周辺の破損（図 10）、ドラフトダンパー落下（図 11）、実験台下水道管に生じたヒビによる漏水などの被害があったが、3 階より下の階では塗装の落下、ヒビなどの軽度なものが多かった。いずれも施設部からの調査があり、順次対応されている。



図 10. 6 階廊下天井ダクト周辺の破損



図 11. 6 階実験室ドラフトダンパー落下

2. 上層階（4 階より上）では実験室の機器が散乱し（図 12）、実験台の上に組んであったアングル棚などが落下した（図 13）。実験機器の固定についてはいろいろな問題点が多く、今後の懸案事項になっているが、数少ない固定可能な部分に合わせてエレクタ等を組み、エレクタ自体を固定した後、機器をエレクタにマジックテープで固定するなどの工夫を施している（図 14）。



図 12. 実験機器の散乱



図 13. アングル棚の落下



図 14. 実験機器と冷蔵庫の固定例

また、高圧ガスポンペを複数置いてある場所ではポンペ立てに固定してある状態のままポンペが倒れそうになり、その場に居合わせた学生が支えて難を逃れた事例もあった。このため、震災後は高圧ガスポンペは空になったものは速やかに返却し、可能な限り実験室に常駐する本数を減らすよう心掛けている。また、ポンペ立てごと固定金具で固定し、不安定な状態で置かないよう工夫している（図 15）。



図 15. 高圧ガスポンペ立ての固定例

この他、耐震固定金具をつけていた大型冷蔵庫が振動のため金具ごと移動し、壁に穴が開く事例もあった（図 16）が、耐震固定を行っていなかった物（図 17）に比べ転倒等の事例は圧倒的に少なかった。



図 16. 固定が外れた冷蔵庫



図 17. 未固定の冷蔵庫（転倒せず）

3. 教員室、院生室では、平積みしていたものや棚の上のもの、棚の扉を閉めていなかった内部のものが床に落ちて破損した。震災後は棚の上には可能な限り重いものを載せないように工夫し、整頓を心掛けている。

4. 震災後、漏水等の点検、安全確認が終わるまでは停電、断水が続き、フリーザーに保管した試料、要冷蔵の試薬などが使用できなくなった。また、空調の故障により復電後の培養室の温度が上昇し、培養中の試料が使用できなくなった。

電源のラインは天井から下りてきているが、二次的に延長コードを使用した場合の漏水被害を確認し、コンセントを可能な限り床より高い所に設置しなおしている。この他、常温で管理する方法がある試料については保存試料の系統を増やして、急な停電などで全ての試料が使えなくなる事態を回避するように計画している。

2.4 陸域環境研究センター

1. 陸域環境研究センター（以下、陸域センター）では、研究室・事務室や資料室内の収納庫の引き出しが一部飛び出る小物が落下するなどの状況はあったものの書庫等の転倒には至らず、負傷する者はいなかった。研究棟各室の壁については、新たな亀裂の発生や既存の亀裂が大きくなった（図 18）。大きな亀裂がある所では 5 ～10 mm 程度の壁材破片の落下散乱が確認された。



図 18.2 階データ収録室・研究室の壁の亀裂

2. 大型水路棟 2 階監視室では、設備運転操作盤に最大 30 cm 程度のズレが起きた (図 19)。これについては、アクセスフロアの床面に L 型アンクルとボルトを使用し連結固定した (図 20)。



図 19. 操作盤のズレ



図 20. 連結固定対応後

この他、大型水路棟では一部の計器が落下し、破損した。個別空調機本体は壁との固定器具が外れた (図 21) が、その後の対応として、空調機や書庫等を専用の固定ボルト器具を利用し、軽量鉄鋼・石膏ボード壁と固定をした (図 22)。



図 21. 壁から外れた空調機



図 22. 専用ボルト・金具にてボード壁と固定

塩ビ製の沈降管装置も最下部のパイプとフランジの接合部分近くで割れてしまった (図 23)。棟の柱となっている H 型鋼材と床面を接続固定しているアンカー止め覆いのコンクリート塊も棟の半数近くの箇所割れた (図 24)。



図 23. 割れた沈降管



図 24. 割れたコンクリート塊

3. 工作棟では床面と固定されていなかった旋盤・ボール盤などに 10 cm 程度のズレ(移動)が生じてしまったが、転倒・落下物品の被害はなかった。これらについては、コンクリート床にアンカーボルトを打ち込み、装置を固定した (図 25) (図 26)。旋盤についても近い時期に固定をする予定である。



図 25. 移動したボール盤(左)とボルト固定後(右)



図 26. 移動したグラインダー(左)とボルト止め後(右)

2.5 下田臨海実験センター

毎年の防火訓練により避難場所が周知されていたため、当日は教職員、学生ともにスムーズに避難することが出来た。

3 月 11 日の潮位は南伊豆で 34 cm (15:53) と、かなり潮が引いた状態だったが、岸壁を超えて津波が押し寄せたので研究調査船「つくば」を即座に沖に移動させた。そのために船舶への被害はなかった (図 27)。

建物の被害としては厨房に亀裂が見つかった。下田には 2 m の津波が丸一日押し寄せたが、センター内でのその他の被害はなかった。



図 27. 津波前後の港の状態

震災後、緊急連絡用に非常用無線機を購入した (2011 年 11 月設置)。この他、東日本大震災の津波規模を参考に新規の避難経路を検討した。すでに、避難場所の設置に着手しており、2012 年 3 月には完成する予定である。

3. 所見および問題点

3.1 自然科学系棟（地球科学グループ）

今回の震災で、スチール製などの棚、ロッカー、装置などが倒れたり破損したり被害はあまり見受けられなかった。これは、巡視を定期的に行っていたことにより、職場環境の意識が高まり、転倒防止措置などが進んでいたことによるところが大きい。倒壊が起きた箇所は、防災対策を行っていないところが被害を受けている。

建物については、建物や部屋の使用者では対応しきれないため、大学による早急の対応が必要である。特に、上層階の外壁タイルに関しては、いつ落ちてくるかが判らないため、早急な対応が必要である。

地球科学分野は、研究科では生命環境科学研究に、学群では生命環境学群に属している。しかし、対応する事務が建物によって違っており、また大学院と学類でも違い、今回の震災では、その対応事務の違いにより混乱をきたした。

情報の伝達に関しては、必要な情報の伝達に時間がかかったり、また問い合わせ先が不明であったり等で、どのように対応をすればよいか判らず多少の混乱があった。少なくとも緊急時の統一された対応が、全学的に必要なと感じる。

3.2 生物農林学系棟（応用生物化学グループ）

今回の震災は春休みに発生したため、学内で火の使用や危険な薬品を使用している学生も少なく、また避難経路での混雑もなかったため、人的被害がなかったことが幸いだった。

生物農林学系棟では、地震の時に廊下に置いてあったロッカー、傘たてや消火器が転倒し、震災直後に行った暗闇の中での確認作業に支障をきたしたことから、現在廊下に物を置かないように徹底した指導を行っている。他の棟でも多数の学生が一斉に避難することを想定し、廊下の物を撤去し避難通路を確保する必要がある。

生物農林学系棟、生命環境学群棟ともに高層階（4階以上）で物の転倒、落下被害が多かった。転倒防止の金具を複数箇所施していた為に転倒を免れた書庫の例もあることから今後さらに徹底した転倒防止対策の必要性を感じる。

実験室に関しては 3.3 総合研究棟 A 棟と同じ状況であったので省略する。

3.3 総合研究棟 A 棟（応用生物化学グループ）

今回の震災では、特に上層階において転倒防止措置の難しい実験機器が多く被害を受け、防止策をどのようにするかが今後の課題となった。一方で、安全性が問題視されていた耐震固定金具については、

不十分ではあっても固定を行ってればそれなりの安全性を保てることが明らかとなった。また、高圧ガスボンベはボンベ立てへの 2 か所での固定の他に、ボンベ立て自身の固定の必要性が明らかとなった。

震災による転倒、倒壊に併せて、それに付随する漏水、停電、安全性を確認するまでの断水などによる生物試料や試薬の被害も多かった。更に、パソコンや携帯電話を使用できないことにより、構成員の安全確認に時間がかかり、学内における緊急連絡網も寸断された。多くの分野の構成員により運営されている総合研究棟においては、今回の問題点を改善するべく、各方面での緊急時の備えを明確に設定する必要があると考えられる。

3.4 陸域環境研究センター

陸域センター内外で震災により転倒し破損した物は、水位計本体と実験用小型フィーダー装置のみで大きな転倒被害は無かった。センターは建物が 2 階までの低層建築物であることや各室ごとに転倒防止対策を進めていたことが大きいと思われる。今回、工作棟の旋盤や大型水路棟監視室の操作盤がズレ動いたことで、背丈が低く重量のある物でも大地震では移動してしまう場合があり、避難時に人手で動かす事ができなくなり通路確保に支障をきたすおそれがあることが想定された。低い重量物でも固定する事が重要であると考えさせられた。

建物の被害については壁・床の亀裂がかなり増えたが、直ぐに危険な箇所は見受けられず、大学本部での復旧対応を待つのみである。建物内外については、雨水の浸み込みや壁材の剥がれなどの変化がないか等を、以前以上に日頃から目配りする事も大切と思われる。

陸域センターは建物規模が小さく部屋数も多くない事に加え、職場安全衛生巡視時に指摘のあった改善箇所がかなり対応できていたため、転倒被害が皆無で棟内にいた教職員や学生も無事に避難する事ができたが、もし夕刻から夜間にかけての災害発生だったと仮想すると、より一層の安全対策が必要であると考えられる。

以上のことから気になる問題点として、①背丈が低く重量のある物でも移動してしまう点、②夜間の災害時や停電時に安全な避難するにはどうしておけば良いかの 2 点である。

①については基準以下の物品までに拡大しての転倒・移動防止対策を進める。②については避難通路上に物を置かず十分な通路幅・避難動線を確認しておく事、携帯型ライト等を各部屋に備え付け、非常時すぐに使用できるようにする事など、基本的な対応策を始め、状況にあった対策を今後も検討したい。

3.5 下田臨海実験センター

政府の地震調査委員会では今後 30 年以内にマグニチュード 8.0 以上の大地震が発生する確率が 87% と言われ、下田臨海実験センター付近では 10 m 以上の大津波が 5~15 分以内に到達すると予測されている。従って地震や津波警報が発令されたら何があってもすぐに高い所に逃げるのが先決であり、広い避難場所を作り災害時を想定して早急に非常食の確保や避難用具の購入を行う必要がある。また今回のような予期しない停電への対策として、大型発電機の設置が研究資料の確保のためにも急務である。

また、採集調査や潜水作業をしている人は至急船上上がり、沖に避難して情報を収集することにより安全を確保、確認することが大切である。

今回の震災時に気付いた問題点としては、以下の様なものが挙げられる。

- ① 実験室内の研究者は警報が聞こえなかった。
- ② 海岸の磯で採集中だった研究者は下田市の広報無線が聞こえなかった。
- ③ 海岸で採集中の研究者を探しに行ってしまったものがある（二次災害の恐れあり）。
- ④ 設置していた避難場所は 10 m 以内の津波を想定してしいたために、今回見られた大津波には対処できない。
- ⑤ 避難場所までの道路が狭い。
- ⑥ 実習期間はセンター職員と実習生を合わせると 100 人ぐらいの利用者が予測される。夏の期間は観光客や地元住民を含めると 500 名以上がセンターの避難路を使用することが予想される。
- ⑦ 停電のため、海水ポンプが停止してしまい多くの

研究材料が死んでしまった。

⑧ 停電のため -80 °C の冷凍庫が止まり、貴重な研究材料が一部失われてしまった。

4. 今後の課題・提言

研究室・実験室内の備品の倒壊や落下については、従来の職場巡視に準ずる耐震固定が功を奏した部分が多かったが、階層、建物の特性、使用状況などで今後の問題点として挙げられる内容が多岐にわたることが明らかとなった。このため、それぞれの現場をよく知る衛生管理者や安全衛生担当者が構成員に対し注意喚起を促すことが普段から重要であると考えられる。

また、今回は震災後の停電などにより、緊急連絡の方法が寸断され、構成員の安全確認などが困難を極めた。特に、研究科、学類、対応事務が複数入り組んでいる現場では情報が錯綜し、かなりの混乱を招いた。今回の震災を教訓として、緊急時に対応できる管理体制の更なる整備が必要になると考えている。

5. 謝辞

今回の報告書をまとめるにあたり、被害例の写真を提供下さった生命環境科学系の諸先生方、生命環境科学等支援室の方々、報告書の作成にご協力いただきました生命環境科学等技術室 農林工学グループ 田所千明技術専門職員、橋本光技術専門職員に厚く御礼申し上げます。

A case study of damage due to the Great East Japan Earthquake and subsequent responses in the area of living environment studies

Hideo Iijima^{a)}, Yoshie Kizawa^{b)}, Yasutaka Tsuchiya^{c)}, Masahiro Shimizu^{d)}, Aki Yamasue^{b)}, Mutsuko Wada^{b)}

Technical Service Office for Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,

^{a)} Terrestrial Environment Research Center, ^{b)} Applied Biochemistry Group, ^{c)} Shimoda Marine Research Center, ^{d)} Geoscience Group

^{a),b),d)} University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572 Japan

^{c)} Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba, 5-10-1 Shimoda, Shizuoka, 415-0025 Japan

Conventional earthquake measures were taken prior to the Great East Japan Earthquake that occurred on March 11, 2011, but conditions exceeded expectations and resulted in earthquake damage.

This case study presents an example of damage and responses to the damage. This study also briefly describes the findings of engineering experts, such as those in living environment studies, and issues with safety measures in order to improve those measures in the future.

Keywords: Great East Japan Earthquake, earthquake damage, responses to earthquake damage

震災における書庫や書籍等の転倒落下とその対策

北原 匡、神戸 昌幸、雨谷 恵、中島 孝

筑波大学システム情報工学等技術室（安全衛生管理グループ^{†1}）

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

平成 23 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災で、本学も地震の揺れによる被害を受けた。本報告では、日頃の職場巡視をはじめとする安全衛生活動を通して講じられた転倒防止対策が有効に機能しなかった事例をあげ、その対応策と今後の安全衛生活動に生かせるポイントをまとめる。

キーワード：職場巡視、転倒防止、落下防止、安全衛生

1. はじめに

東日本大震災で被災したエリア内^{†2}建屋の被害状況を調査すると、研究室や実験室内の物品棚や書庫の転倒及びそれらに収納されていた物品や書籍の落下が最も多かった。なかでも、12 階建の工学系研究棟 F 棟および 12 階建の総合研究棟 B の 7 階から上の階の部屋に被害が集中していた。

本エリアでは、震災の 1 年前に全 800 室中約 500 室において転倒防止対策が必要と判断し、外部業者へ一括委託して転倒防止工事を実施した。しかしながら 3 月の震災では、そのうちの 2 割程度が転倒してしまった。

本報告ではその原因と、震災以降に再び転倒防止工事を行った際の留意点を示す。

また、書庫等からの書籍や物品の落下防止策についても例を挙げて紹介する。

転倒防止対策はその方法を客観的に科学的に説明しなければ、有効性を論じることができない。それらの実験や論文、報告書は存在するが、様々な要因が複雑に絡んだ現実の転倒挙動に対しては必ずしもそのとおりになるとはいえず、いろいろな対策方法を組み合わせることが重要と考える。本報告においても東京消防庁指針^[1]や実験施設の整備等に関する検討会報告^[2]を参考にし、常識的かつ直感的な方策を取り上げる。

2. 震災前の転倒防止対策

2.1 転倒防止対策前の状況

震災の 2 年前（平成 21 年夏）時点の職場巡視では、転倒防止対策を講じているところはわずかで、殆どの研究室、実験室で転倒防止対策の必要があった。

原則的には、部屋の管理者（利用している教員）がその対策をとることが前提であるが、組織全体での対象箇所が多いこともあり、組織エリア内一括で転倒防止工事をすることにした。工事の際に使用する金具、ねじ、施工方法は業者の判断に任せた。使用金具およびねじについては 4.8 章に詳しく示す。

3. 震災時の転倒・落下の状況

震災直後の研究室・実験室内を撮影した写真から、典型的な転倒および落下事例を紹介する。

3.1 転倒事例 1（ベース部連結破損）

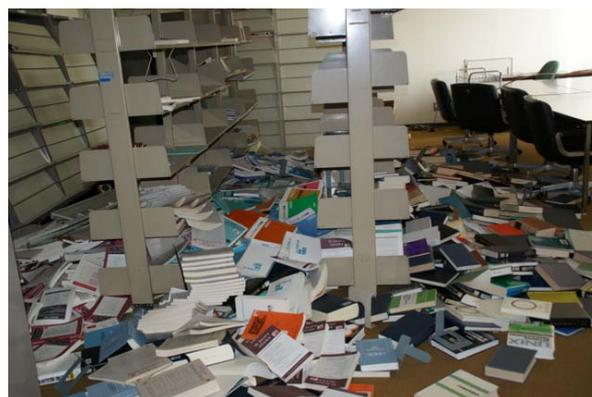


図 1. 転倒を免れた開架書庫



図 2. 書庫ベースとの連結不十分で転倒

^{†1} g-anzen@sie.tsukuba.ac.jp

^{†2} 筑波大学システム情報系、筑波大学大学院システム情報工学研究科、筑波大学理工学群（応用理工学類、社会工学類、工学システム学類）、筑波大学情報学群（情報科学類）が管轄する研究室、実験室、事務室等がある区域

図1は12階の図書資料室である。収納されている書籍は全て落下した。2つの書架は上部が金属アームで連結され、床にアンカーボルトで固定されていたが、ブレースがないため多少のぐらつきはあるものの結果的に柔構造が幸いし、転倒は免れている。

しかしながら、そのすぐ横の図2の書庫は、図3に示すように、書庫本体と書庫ベース部のねじと金具での連結が書庫両側の中央部一カ所のみであったため、揺れで破損し転倒した。



図3. 書庫ベースの連結部破損による転倒

3.2 転倒事例2（未固定自立書庫）

11階学生研究室では、図4および図5に示すように、室内両側の書架および書庫は壁面にて適正に固定されていたため、転倒はしていない。自立書庫は上下ユニットの連結固定はされていたものの、床固定されていなかったため転倒した。



図4. 固定された書庫と転倒した自立書庫



図5. 固定された書架と転倒した自立書庫

3.3 転倒事例3（壁固定抜け）

9階教員研究室では、図6および図7に示すように、転倒防止対策済みの書庫が壁面を下方に滑り落ちるように転倒した。



図6. 固定済み書庫の転倒



図7. 書庫ベースの滑りによる転倒

特徴的な条件として、書庫ベースが書庫本体と連結固定されておらず、滑りやすいPタイル床面にも未固定であること、書庫内にそれほど物が入っておらず、軽量であること、壁面とは書庫上部2カ所でL字型金具で固定されていたことなどがあげられる。

書庫が比較的軽量だったため、揺れで固定されていない書庫ベース部分が手前に滑り、書庫本体から離脱し、固定ねじが書庫の自重を支えきれずに抜け、足下から滑るように転倒したものと思われる。さらに、壁の下地フレームと確実にねじ固定されていたかどうか疑わしく、施工不良の可能性もある。また、固定に用いたドリルねじのサイズや形状が適切だったのかについても検討の余地がある。

3.4 転倒事例4（重量バランス・重心）

12階事務室では、図8および図9に示すように、天井突っ張りタイプの一体型書庫が転倒した。これらは壁および床へのねじ固定はされていない。一般的には天井高の書庫は転倒しにくいとの認識があるが、書庫内の上下重量バランスや突っ張り強度によっては容易に転倒すると考えるべきである。この事例では、書庫上部に重い書類がびっしり収納されて

いたことによる重量バランスの悪さと、転倒防止対策が天井突っ張りのみであったことによる転倒と考えられる。



図 8. 天井突っ張りタイプの書庫の転倒



図 9. 重量バランスの悪さによる転倒

3.5 転倒事例 5（高さ 1.5 m 未満）

職場巡視において、高さ 1.5 m 未満の家具等については転倒しにくい、転倒したとしても危険性は少ないとの理由で、原則として転倒防止対策の指摘対象としていない。今回の震災では、高さ 1.5 m 未満の家具や什器でも転倒し、身体への直接被害、避難時通路の障害となりうる事例が見られた。

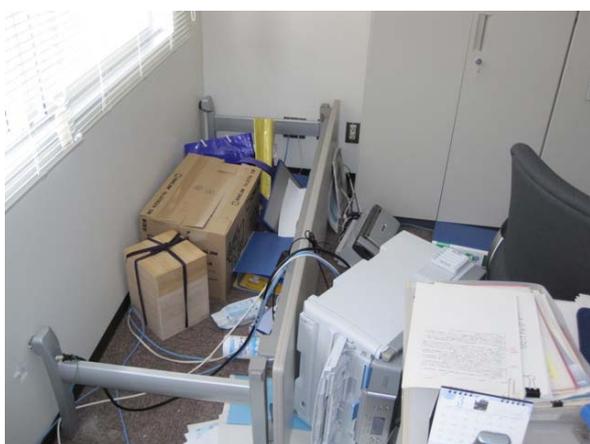


図 10. 重いプリンタが載った机の転倒

図 10 は、カーペット床のキャスタ付机の上に乗せた重量のある大型レーザープリンタが机ごと転倒してしまった事例である。高さがさほどなくとも、重量バランスが悪いと転倒することがわかる。



図 11. 大型液晶テレビモニタの転倒

図 11 は、大型液晶テレビモニタがキャスタ付スタンドごと転倒した事例である。重量バランスは上方にあり、図 10 と同様に転倒する。ただし、P タイル床をキャスタにより自由に滑走移動した結果、転倒を免れたケースも少なくない。エレクトラなどのキャスタ付物品棚も同様の傾向があるといえる。



図 12. 室内パーティションの転倒

また、図 12 のような室内で用いられるパーティションが転倒し、その結果、避難時の通路障害となる可能性があることがわかる。パーティションは自由に連結可能であるが、適正な組み立てをしないと、形状によっては不安定になり転倒することがある。一般的には H 型配置が最も安定している。

3.6 転倒事例 6（通路の障害）

図 13 および図 14 は、机上や物品棚からの落下物、什器の移動、収納庫内からの飛び出した物品により、通路が閉塞した状態である。身体への直接的な被害はなかったが、避難時の通路障害となり危険である。



図 13. 什器や物品の散乱による通路閉塞



図 15. 書架からの書籍落下



図 14. 落下物による通路閉塞



図 16. 扉のない書庫からの書籍落下



図 17. 古い備え付けの書庫

3.7 落下事例 1（書籍の落下）

書庫の転倒は免れた場合でも、中に入っている書籍が落下し、床に散乱した例が数多く見られた。そのほとんどが、図 15 のような開架型書庫か、図 16 のように扉が開いたまま、または扉がない書庫であった。

3.8 落下事例 2（ガラス戸の落下）

図 17 に示す古い備え付けの書庫のガラス引き戸は、下側レール溝が浅いため、地震の揺れと中の書籍がぶつかった衝撃で図 18 のように脱落し、割れる例があった。



図 18. 落下して破損したガラス戸

4. 震災後の転倒・落下防止対策

3章での事例をもとに、震災後の転倒・落下防止の対応策を決め、平成23年8月以降、対策工事を順次進めている。それらの事例を紹介する。

4.1 書庫等の配置

- ・ 書庫上下ユニットの上ユニットを下ろして使えるような室内レイアウトにする（転倒防止不要）
- ・ 自立型の配置にせず、壁面に隙間なく沿わせて配置する（より確実な固定が可能）
- ・ 自立型の場合は複数の書庫等を背合わせにして連結し一体化する（接地面積を増す）

4.2 書籍や物品の収納

- ・ 重たいものは下に収納する（重心を下げる）

4.3 書庫ベース

- ・ 書庫ベースは使わずに固定する
- ・ 書庫ベースが離脱しないように書庫本体と複数箇所連結する（図19参照）
- ・ 床固定は、書庫ベースとではなく、書庫本体を金具を用いて固定する（図19参照）



図19. 書庫ベースがある場合の床固定例

4.4 床および壁への固定

- ・ 書庫上下ユニットを金属プレートで2カ所以上で連結する
- ・ 書庫上部を2カ所以上で堅固な壁または下地材にL型プレートで固定する
- ・ 適切な部材を用いる

- ・ 棧や長押があれば、書庫裏面を直に固定する
- ・ 両側の書庫等とボルトで連結する
- ・ 書庫が滑りずれないように床と固定する

図20～図23に、震災後に転倒防止工事をした実際の例を紹介する。いずれも震災前ではあまり考慮されず、転倒防止対策はされなかった部分である。



図20. キャビネット（高さ1.5m未満）の固定



図21. 棚とレターボックスの固定

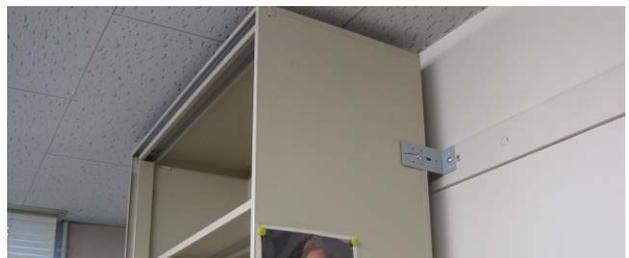


図22. 天井突張り書庫の棧への追加固定



図23. 書庫の床面滑り止め固定

4.5 天井突っ張り型の書庫

- ・ 強度のある天井にしっかり突っ張る
- ・ 天井フレームの位置にしっかり突っ張る
- ・ 天井ボードには突っ張らない（強度なし）
- ・ 天井との距離がある場合は単独での効果はあまりない
- ・ ねじでの壁、床固定と併用する

4.6 書籍や物品等の落下防止

- ・ ひも、チェーン等で落下を防ぐ
- ・ 落下防止装置のある書庫や物品棚を使う

図 24 は物品棚用落下防止チェーン（試作品）の使用例である。



図 24. 金属チェーンを用いた落下防止器具

図 25 および図 26 は、手元にあった結束バンド、ハトメアイレット、ワッシャー、ボルト、被覆ワイヤロープなどの部材を流用して試作した落下防止器具である。また、書庫については、図 27 のような落下防止器具の装備されたものが市販されており、一部の研究室等では図 28 のように更新した。書庫の棚前面に取り付けられた金属バーでロックし、上に引

きあげるとアンロックされ下に反転して出し入れがスムーズに行えるようになっている。全研究室でこのような書庫を導入するのが望ましい。

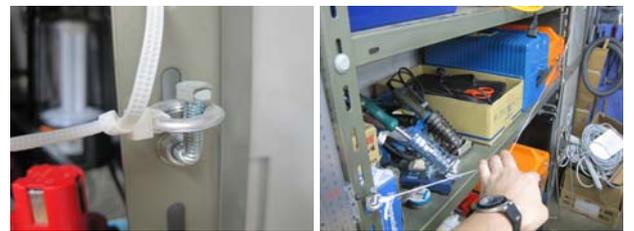


図 25. 結束バンドを流用した落下防止器具



図 26. 被覆ワイヤを流用した落下防止器具



図 27. 落下防止装置の付いた市販書庫



図 28. 落下防止装置付き書庫の使用例
(中央列上から3~5段目はアンロック状態)

4.7 書庫のガラス引き戸の落下防止

- ・ ガラス戸を外し、別途落下防止をする
- ・ ガラス戸が外れないようにストッパーを取り付ける
- ・ より安全な書庫に買い替える

アルミ板などでストッパーを作製し、ガラス戸下側にねじ留めすれば、ガラス戸が落下する事はないが、ストッパーを外さないとガラス戸も外せないという問題点もある。現在のところ有効な解決策はない。使い勝手や見栄えが悪いが、試験的に、家具固定用のL字型金具を流用してストッパーとして設置した例を図 29 に示す。



図 29. ガラス戸落下防止用ストッパー

4.8 固定用部材の強化

震災前に書庫等の転倒防止工事をした際に用いた主な金具を図 30~図 32 に示す。

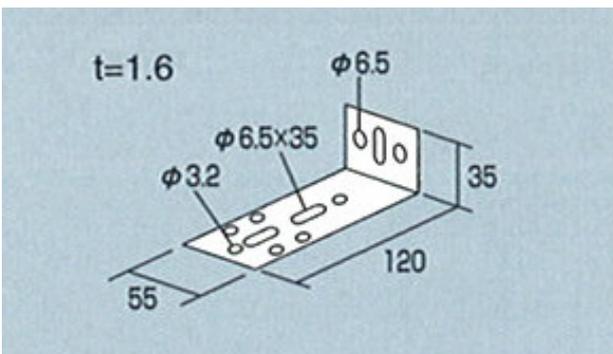


図 30. L字型金具 (主に書庫と壁の固定用)

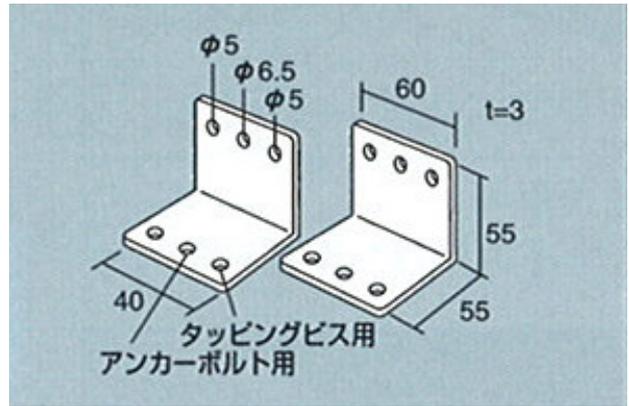


図 31. L字型金具 (主に書庫の床固定用)

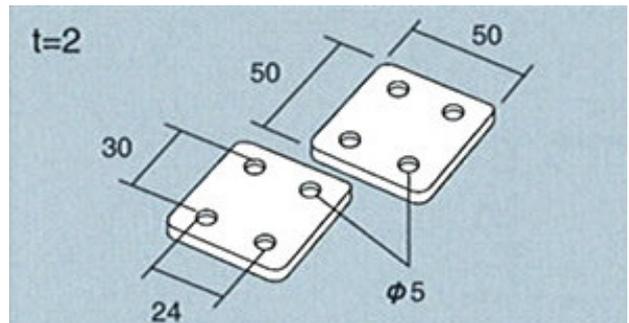
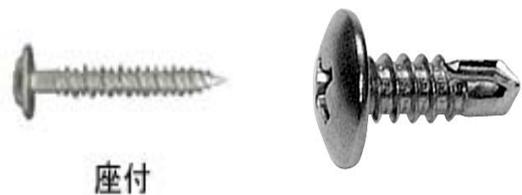


図 32. 平プレート (主に書庫の上下連結用)

震災において、これらの金具が破断することはなかったが、飴細工のように変形し、固定用のねじが抜けて外れてしまった例が多くあった。これは、金具自体はそれ相応の粘りで書庫を支えていたと考えられるが、使用したねじの種類が適していなかったのではないかと推測される。

図 33 は震災前の転倒防止工事で使用したねじである。床固定およびコンクリート壁への固定には、プラグ埋め込み不要で下穴 3.5 mm、4 × 25 mm のノンプラグコンクリートねじを用いた。これは価格と施工効率を重視したためであり、家具類の固定に対しては当時は十分とされていた。また、什器への金具取り付けおよび石膏ボード下地への固定には、下穴不要のドリルねじを用いた。結果的にはこのドリルねじの使用がねじ抜けの原因の一つと考えられる。



座付

図 33. 震災前に使用したねじ
(左) 床・コンクリ壁固定用ノンプラグねじ
(右) 什器・スチール家具、下地用ドリルねじ

震災後は、より強固な固定をめざし、石膏ボード下地の軽量鉄骨フレームを探索し、ねじ固定の穴位置を正確に決めるために精度の高いスタッドセンサーを用いた。また、金具の変形による引き抜きにも

耐えるよう、図 34 に示す M6 トラスねじを使用することにした。これは震災前のもの比べ、頭サイズも大きく、ねじ径・長さも 6×35 mm と、より太く長いものである。これを下穴を開けて使用した。



図 34. 震災後に使用したねじ
(コンクリ壁、下地固定用 M6 トラスねじ)

また、場所に応じて、図 35 に示すワッシャー（外形 21.7 mm、穴径 6.7 mm、厚さ 1.0 mm）およびプラグを図 34 のねじと併用するようにした。

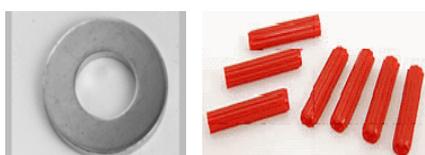


図 35. ワッシャーとプラグ

床固定は、すべてアンカーによる固定が強固であるが、移動する際の切断作業等を考慮し、ノンプラグねじを用いることとした。

5. まとめ

震災によって、転倒防止・落下防止対策の重要性とより安全で確実な具体的対応策へのヒントが示された。これらはすでに平成 23 年 8 月および平成 24 年 2 月実施の転倒防止工事に活かされているが、今後の転倒防止・落下防止対策の標準となるよう、更なる検討を重ねていかなければならない。

ただ、忘れてはならないのは、転倒防止工事や落下防止工事を行うことが主目的になってはならないという点である。目指すべきは、転倒するものや落下するもの、およびそのような状態を極力排除することであり、工事による対策の前に書庫や物品棚等の室内配置および設置方法を検討することが先決である。本報告にある内容は、あくまでもやむを得ない場合の補助的な対策であると認識しなければならない。

地震は明日また発生するかもしれない。残念ながら 100% 確実な地震対策は無い。できる事は少しでも多く、できるだけ早く、今すぐにも対策しておくのが肝要である。

参考文献

- [1] 東京消防庁, オフィス家具類・一般家電製品の転倒・落下防止対策に関する指針, 平成 18 年 3 月.
- [2] 文部科学省大臣官房文教施設企画部 “安全衛生に配慮した実験施設の整備等に関する検討会”, 実験施設の整備等における安全衛生対策の留意点, 平成 22 年 3 月.

Books and shelves falling during an earthquake and countermeasures to deal with those objects

Masashi Kitahara, Masayuki Kobe, Megumi Amagai, Takashi Nakajima

Technical Service Office for System and Information Engineering, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

The University was damaged by earthquake vibrations during the Great East Japan Earthquake that struck on March 11, 2011. Countermeasures in the form of health and safety efforts, such as routine workplace inspections, failed to prevent objects from falling, as indicated by significant examples cited in this study. This study describes examples of those countermeasures and summarizes aspects that should be capitalized on during future health and safety efforts.

Keywords: workplace inspections, preventing items from falling/falling over, health and safety



筑波大学技術報告 No.32
第11回筑波大学技術職員技術発表会報告集

平成24年3月発行

編集 筑波大学技術職員技術発表会実行委員会編集小委員会

発行 筑波大学研究推進部研究企画課
〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1
電話 029-853-2924

第11回筑波大学技術職員技術発表会
主催
筑波大学全学技術委員会
委員長 赤平 昌文 筑波大学副学長（研究）

企画・運営
第11回筑波大学技術職員技術発表会実行委員会
[体育芸術系支援室]
鷲野谷 秀夫（委員長）
[数理物質科学等技術室]
河原井 勝一
皆川 雄功
[システム情報工学等技術室]
川上 彰（副委員長）
飯高 稔
[生命環境科学等技術室]
山崎 順子
有本 光江
[医学系技術室]
菅江 則子
長谷川 賀一
[農林技術センター技術室]
松本 安広
佐藤 美穂
[研究基盤総合センター技術室]
石井 聡
[プラズマ研究センター]
杉山 昭彦
[計算科学研究センター]
富田 雅