

〔特集〕ながれと創造教育

ポータブル波浪可視化実験装置を用いた体験型教育の取組

熊本大学 工学部 外村 隆 臣

*熊本大学大学院 自然科学研究科 山田 文彦†

Experience-based Learning using Portable Visualized Equipments for Water Waves

Takaomi HOKAMURA, Faculty of Engineering, Kumamoto University

Fumihiko YAMADA, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

1 はじめに

近年の環境問題への関心の高まりとともに、土木環境分野での基礎学問として水理学関連科目（水理学、海岸工学、河川工学等）の重要性が再認識されている¹⁾。しかしながら、学生アンケートの結果から判断すると、数式を多用した座学中心の講義であるため、実際の水理現象をイメージできず、水理学関連科目は難解な科目として敬遠される傾向が強い。

この問題を解決するためには、実現象を「観察」・「体験」し、興味を惹きつけることが、学生の理解度向上にとって重要なプロセスであると考えられる。このため、多くの大学・高専においては、水理実験が講義科目として用意されているが、例えば、海岸工学分野における波浪の回折や屈折、または、消波構造物による波高の減衰などの実験を行うためには、通常は大がかりな装置が必要となり、座学中心の講義の中に実験的要素を取り込むことは容易ではない。

そこで、新たな試みとして、3年前学期に行われるものづくり関連講義と後学期に行われる海岸工学等の講義との講義間の連携を計画し、持ち運びが可能で、講義中に学生自身が操作し、実験的に浅海域での波浪変形現象を体験できるポータブル実験装置を作成した。具体的には、ものづくり関連講義の中で「水面波投影装置」と「風洞・造波水槽」を学生とともに設計・作成し、これらの装置を用いて得られた実験画像をアニメーション化して、電子教材としてホームページに公開した。また、これらの装置やホームページを次学期開講の海岸工学の講義や1

年生を対象とした学生実験およびオープンキャンパス等で実際に使用し、学生や一般の方からは視覚的に現象が理解しやすく、興味を持った等、好評であった。この一連の取組みは他の教育・研究機関でも工学教育上、参考にしていただける部分を含むと考えられるので、その内容を紹介することが本稿の目的である。

2 ポータブル実験装置の概要と特徴

2.1 水面波投影装置

水面波投影装置の全景および概略を図1, 2に示す。特徴としては、スピーカーの上下振動を利用して波を造波し、平面水槽上方から点光源を照射することで、水表面の凹凸に応じた光と影の濃淡画像が水槽架台内に斜めに設置した鏡によって90度前面に反射され、前面のスクリーン(20cm×20cm)上に投影される。平面水槽(アクリル製)のサイズは縦横25cm、高さ4cm、また水槽架台(アクリル製)は縦横高さともに20cmであり、非常にコンパクトである。また、波源部分を付け替えることで点源波・平面波など数種類の波を発生させることができ、周期、振幅とも微調整可能である。

①低周波発振器(エヌエフ回路設計, 1915)

スピーカーに信号を送り、様々な振幅・周期の波を造ることができる。その機能が不十分な場合は、配線の途中に抵抗を付けることで変更が可能。

②スピーカー

①からの信号を上下運動に変え、波源部に上下振

*〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39番1号

†E-mail: yamada@kumamoto-u.ac.jp

動を送る。スピーカー振動部にフィルムケースを固定し、割り箸を張り出して波源部のジョイントとしている。また、車用のジャッキに乗せることで、水面までの微妙な高さ調節を容易に出来るようにした。

③波源部

水面を叩いて波を発生させる部分。身近な材料(割り箸・発泡スチロール・マチ針等)を利用。取替え可能で、今回は4種類(1点波・2点波・多点波・平面波用)の波源部を作成。

④アクリル水槽(ヤガミ, 0247YO)

25cm×25cm×4cmのアクリル製の水槽。内側側面にスポンジを貼り、反射波を抑えている。

⑤障害物

アクリル、発泡スチロールで作成。障害物を水槽内に設置し、波の屈折・回折・反射などを再現。

⑥点光源(Shimadzu, RTR用)

電球を耐熱性の厚紙で囲み、下部の一部に穴を開けて点光源を発生。点光源を用いることで、よりはっきりとした光の濃淡が出る。

⑦スクリーン

20cm×20cm×20cmの透明ボックスの1側面に白地の布を貼りスクリーンとし、他3側面は黒紙で覆う。ボックス内部に鏡を斜めに取り付け、上に置いた水槽から生じた光の濃淡をスクリーンに投影。

2.2 風洞・造波水槽

風洞・造波水槽の全景および概略を図3, 4に示す。この装置の特徴として、1つの水槽で風による波と造波板による波の両方を発生させることが可能で、また、水槽の長さ1m、高さ0.5m、奥行き0.25mと卓上に置けるサイズであるため、講義室やオープンキャンパス等での移動・設置・使用が容易となるように設計していることである。

①風速用ファン(MRS18V2-B, オリエンタルモーター)

風速を最大約9m/sまで可変可能で、風から水面にエネルギーが伝達され、波が造波される様子を観察することが可能。

②電動シリンダ(EZHP6A-20, オリエンタルモーター)

シリンダ式のステッピングモーターにより造波装置の小型化を図る。

③電動シリンダ制御部(DF1905, エヌエフ回路設計)

造波板の周期(0.1mHz-500kHz)および振幅(0-40cm)の可変調整を行う制御部分。

④軟着堤の模型(アクリル製)

熊本港の軟弱地盤着底式防波堤のアクリル模型。

熊本港は、有明海に流入する白川と緑川に挟まれた熊飽海岸の地先に位置し、人工島形式で建設されている。熊本港周辺海域は、超軟弱地盤厚が40m、潮位差4.5mと、港を建設するうえで厳しい自然条件である。建設工事は、昭和49年4月に重要港湾の指定を受けて開始されたが、熊本港の南側防波堤は、軟弱な未改良の地盤に直接堤体を据え付けるという我が国では初めての構造物で、この構造形式を軟着堤(軟弱地盤着底式防波堤)²⁾と呼んでいる。堤体の重さを軽くするとともに、堤体底面を広くして、海底地盤に伝わる荷重を小さくし、コストのかかる地盤改良を不要としたものである。また、堤防の前面・背面は穴が開けられており、海水交換が容易であるのも特徴である。

3 実験結果

3.1 水面波投影装置の実験結果

水面波投影装置で、障害物等による波の反射・回折・屈折などの実験結果を図5(1)~(8)に示す。(1)は波のドップラー効果の実験結果で、図中の矢印の方向へ1点波源を移動させている。波源を境に進行方向とその反対側とでは波長の違いがはっきりと確認でき、ドップラー効果を視覚的に理解することが可能になる。(2)は水槽の中央左側に直線構造物を設置し、平面波を入射した場合で、障害物の背後に波が回りこむ回折が確認できる。(3)は水槽の中央に両側から中心部の隙間を広くして直線障害物を設置し、平面波を入射したもので、両側の障害物背後に波が回折するとともに、比較的平面波に近い状態で波が伝播することがわかる。(4)は水槽の中央に両側から中心部の隙間を狭くして直線障害物を設置し、平面波を入射したもので、隙間から入射した波が回折によって球面波として放射状に伝播する様子がわかる。(5)は水槽の中心に短い直線構造物を置き、そこから両側に隙間をあけて、さらに直線構造物を設置し、平面波を入射したもので、入射波が2つの隙間より球面波として伝播し、互いの球面波が干渉する様子がわかる。(6)は水槽の右下部に斜めに障害物を設置し、平面波を入射したもので、入射波と反射波が干渉し、縞模様状に波高が分布する様子がよくわかる。(7)は水槽右下部に浅瀬を設置した場合で、浅瀬に進入してきた波の屈折により波峰線が変化する様子がわかる。(8)は没水した球面状の浅瀬に平面波を入射した場合で、球面浅瀬に沿って波の屈折が生じ、浅瀬背後に波が回りこむ様子がわかる。

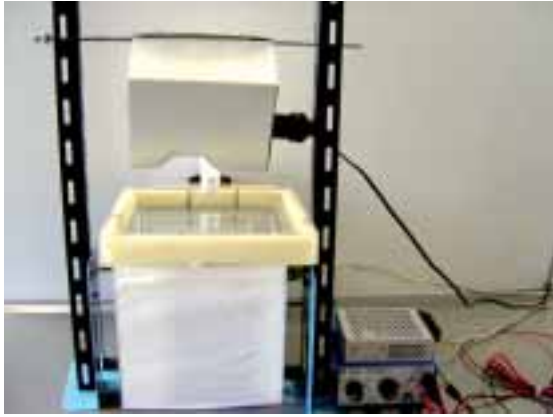


図1 水面波投影装置の全景

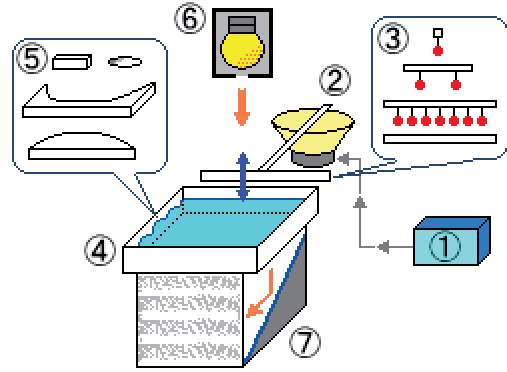


図2 水面波投影装置の概略図

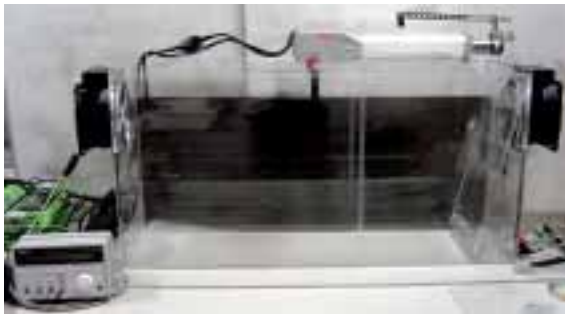


図3 風洞・造波水槽の全景

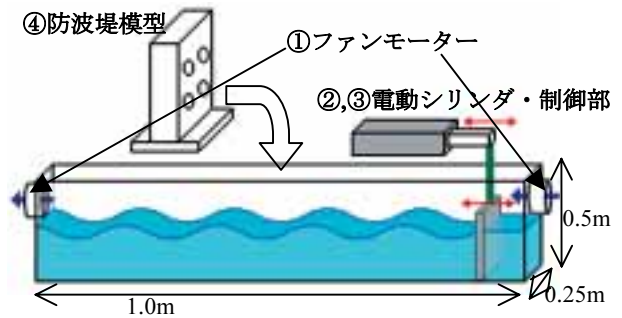


図4 風洞・造波水槽の概略図

以上のように、平面水槽内に構造物を置くことによって、画面上方から入射した波が回折、屈折、反射する様子を容易に観察できる。学生は実験中であっても、自由に構造物の配置を変更することができ、例えば、2つの防波堤の間隔によって回折波の伝播過程が大きく変化することを、実体験を通して習得できる。

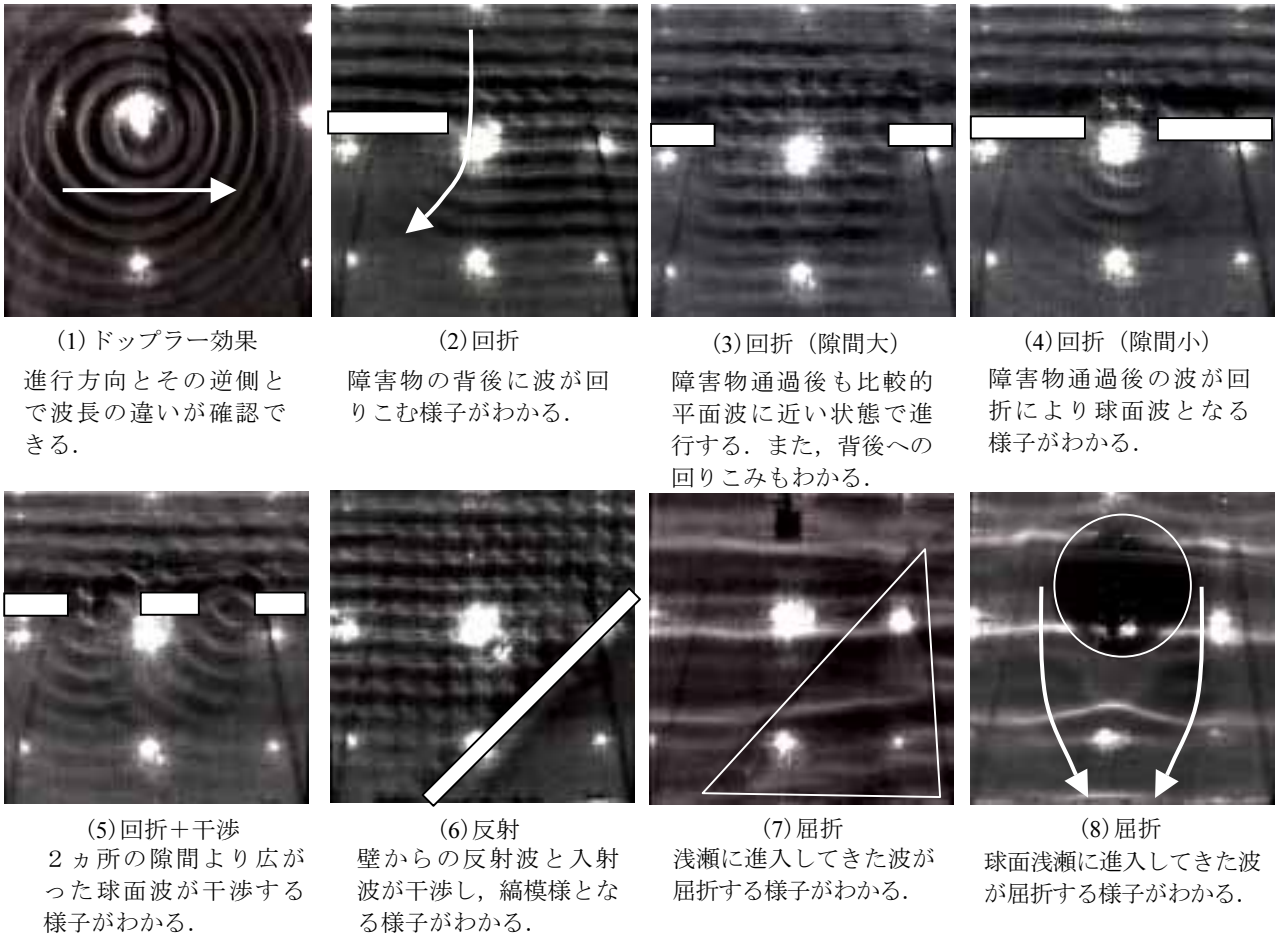
3.2 風洞・造波水槽の実験結果

風洞・造波水槽を用いた実験結果を図6(1)~(4)に示す。(1)はファンモーターで風を送風して波を起こした実験結果で、風により波が発達する様子がわかる。(2)は電動シリンダにより造波板を往復させ波を起こした実験結果であり、波の伝播過程が確認できる。なお、水槽端での反射波の制御は堀込(2002)³⁾を参考にした。(3)は造波板で波を起こし、水槽中に斜面を設置した実験結果で、巻き波による砕波を再現した。(4)は造波板で波を起こし、水槽の中央付近に透過性の軟着堤の模型を設置した実験結果で、港外から進入してきた波が防波堤通過後、その背後で波高を減衰する様子や海水が交換される様子がよく再現されている。このような簡易模型を組み合わせることで、最新の技術の仕組みを視覚的に理解することが可能である。

3.3 講義等での利用

図7は熊本大学工学部社会環境工学科の1年生を対象に行った実験科目での使用例である。また、オープンキャンパスでも一般公開を行っている。このように、今回作成した実験水槽を用いることで、波の反射・回折・屈折や砕波、防波堤の効果などの実験を行い、講義中に学生が自ら装置を動かし、障害物の配置等を変更することで、波の変形がどのように変化するのかを簡単に分かりやすく可視化することで、現象の理解が容易になったとの評価であった。また、3年生の海岸工学では、講義課題として防波堤による波浪制御コンテストを行い、学生の自由な発想による防波堤のアイデアが集まった。図8は学生のアイデアの一例である。今後は、そのアイデアを用いた模型実験を行うことを計画しており、このような創造教育面やものづくり教育面に関しても手軽に行えることがポータブル実験水槽の利点と考えられる。

さらに、これらの実験装置を用いた画像データをホームページ上に公開することで、学生が簡単に波の現象を確認出来るような教育ツールとして活用できる電子教材を作成している⁴⁾。

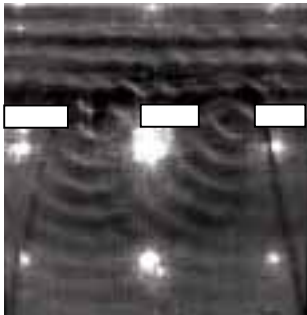


(1) ドップラー効果
進行方向とその逆側とで波長の違いが確認できる。

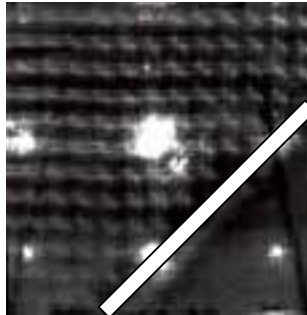
(2) 回折
障害物の背後に波が回りこむ様子がわかる。

(3) 回折 (隙間大)
障害物通過後も比較的平面波に近い状態で進行する。また、背後への回りこみもわかる。

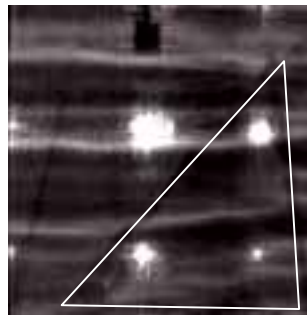
(4) 回折 (隙間小)
障害物通過後の波が回折により球面波となる様子がわかる。



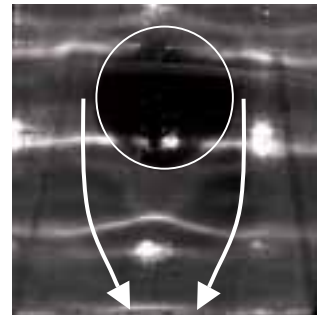
(5) 回折+干渉
2ヶ所の隙間より広がった球面波が干渉する様子がわかる。



(6) 反射
壁からの反射波と入射波が干渉し、縞模様となる様子がわかる。



(7) 屈折
浅瀬に進入してきた波が屈折する様子がわかる。



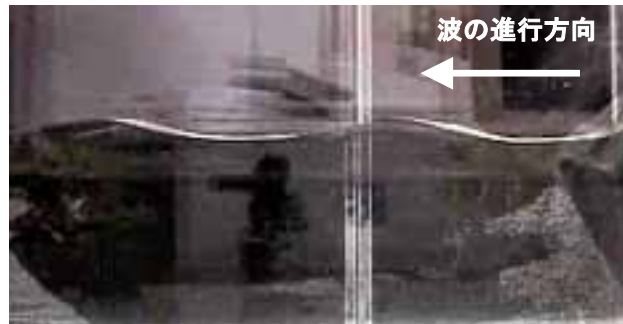
(8) 屈折
球面浅瀬に進入してきた波が屈折する様子がわかる。

図5 水面波投影装置の実験結果

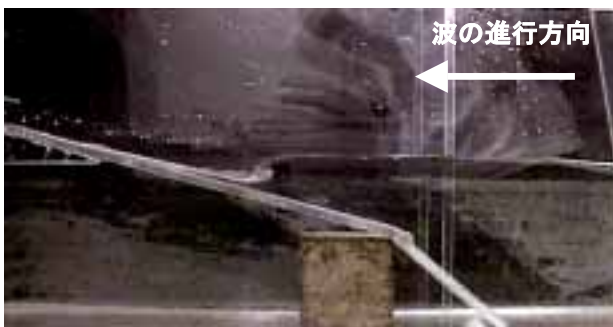
(障害物などによる波の変形の平面分布, 平面波は図上方から下方に向かって進行)



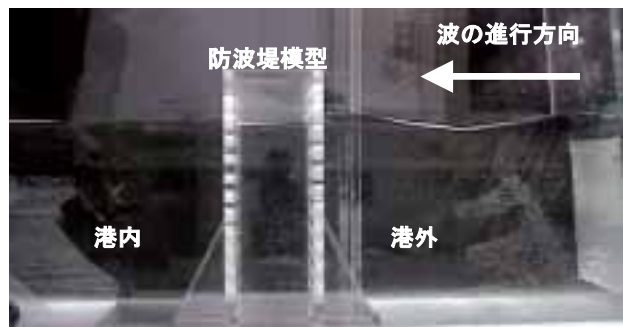
(1) 風による波の発達



(2) 造波板による波の伝播



(3) 一様斜面上での砕波変形



(4) 軟着堤背後での波高減衰

図6 風洞・造波水槽の実験

3.4 実験装置を使用した講義の評価

1年生を対象とした工学の基礎実験に関する学生アンケート結果より、波の実験に関する項目を抜粋して表1に示す。実験装置に関する質問では概ね好評であったことがわかり、また、自由記載のコメントには、“視覚的に分かりやすく面白い”、“難しかったが興味を持つことができた”、“五感で感じるものが多くて楽しい”、“この装置を先輩学生が講義で作成したことに驚いた”、等肯定的な意見を多くいただいた。このアンケート結果より、従来の水理実験室での大型水槽を用いたデモと同様、あるいはそれ以上の教育効果が得られることが分かった。



図7 講義での利用

4 おわりに

学生が水面波の実現象を、体験を通して容易に理解できるように、学生自らが簡単に操作できるようなコンパクトな「水面波投影装置」と「風洞・造波水槽」とを、ものづくり講義を通して設計し、作成した。このようなコンパクトな実験装置を使用することで、学生は自ら容易に防波堤模型を作成したり、また、それらの組み合わせを自由に変更したりすることが可能であり、そのような状況で波浪がどのような振る舞いを見せるかを定性的ではあるが、実現象を体感できる。大規模実験や数値計算とは一味違った、このようなアナログ的な現象理解が、基礎の学習段階では大変重要と考えられ、他の学会などでもアナログモデル実験の重要性³⁾が再認識されつつある。本論文で紹介した画像データ等の詳細は以下のサイトの“水面波投影装置”、“ポータブル風洞水槽”をご参照いただきたい。

<http://www.civil.kumamoto-u.ac.jp/coast/>

謝辞：本研究は、日本学術振興会奨励研究費および熊本大学ものづくり創造融合工学教育センターの補助を受けて実施したものであり、記して謝意を表します。また、今回の実験装置の設計・作成は、熊本大学工学部環境システム工学科（土木環境系）3年前期開講の社会基盤設計演習を通して得られたものである。熱心に協力頂いた平成15・17年度の学生各位に重ねて謝意を表します。

引用文献

- 1) 石川忠晴: 環境研究は現場から, 流体力学学会誌「ながれ」(2000), pp. 457-466.
- 2) 例えば, 熊本港ホームページ, <http://www.kumamoto-port.go.jp/Kowanshokai/kuma.html>

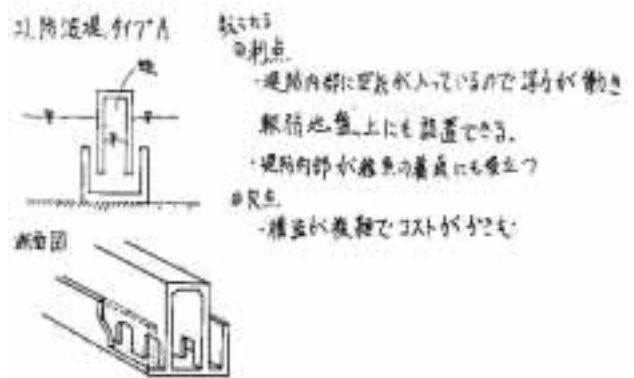


図8 波浪制御コンテストの学生アイデア一例

表1 工学の基礎実験アンケート結果

Q10: 実験を実施する上で実験器具の扱い勝手はよかったですか?	
①非常に取り扱いやすかった	7人
②取り扱いやすかった	15人
③あまり取り扱いやすくなかった	2人
④非常に取り扱にくかった	0人
Q11: 教員は実験内容について分かりやすく説明する工夫をしていましたか?	
①非常に工夫していた	8人
②少し工夫が見られた	17人
③あまり工夫をしていなかった	0人
④全く工夫をしていなかった	0人

- 3) 堀込智之: 波をつかまえる(2002), 連合出版
- 4) 外村隆臣, 中道 誠, 山田文彦: 水面波投影装置の電子教材としての利用について工学教育(2004), 28-32.
- 5) 例えば, 地球惑星科学合同大会ホームページ <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/kurikuri/Kitchen/KitchenFacePage.html>