

## 第15章 データ収集器 CBL2 の利用

数ナビのオプション機器であるデータ収集器 CBL2 (Calculator-Based Laboratory 2) を利用すると、多数のセンサーを接続して実データを直接収集することができます。たとえば、下記のように、非常に多彩なセンサーを利用することができます。他にも、多数のセンサーに接続できます。

速度計	加速度計	血圧計	CO <sub>2</sub> 濃度計	吸光度計
溶解酸素計	加重計	筋電計	圧力計	Cl <sup>-</sup> イオン計
変位計	酸素濃度計	塩分計	温度計	表面温度計
K 熱電対	紫外線計	電力系	回転変位計	土壌水分計
液滴計数計	Ca <sup>2+</sup> イオン計	pH センサー	分光光度計	赤外線温度計

CBL2 は、グラフ電卓の種別とセンサーとを自動的に判別して、データ収集のために必要なソフトウェアを電卓側に転送します。その後は、そのソフトウェア (DataMate) を起動するだけで、いろいろなデータを収集することができます。最大で 3 個のセンサーを接続して同時にデータ収集することが可能であり、データ収集のタイミングなども細かく指定することができます。メモリー容量にもよりますが、最大で毎秒 50,000 個のデータを収集可能です。収集されたデータは数ナビ側に表データとして転送されるので、前章で説明した数ナビの表計算機能 (Data Matrix Editor) を利用すれば、いろいろなデータ解析を容易に行うことができます。



以下では、このデータ収集器の利用法について説明します。実験実習の授業で、この機器を利用することもあるので、そのようなときに参考にしてください。あるいは、上記のセンサーを利用して自分で実験をしてみたいときは、多数のセンサーを学科で所持しているので、実験担当の先生に相談して下さい。

### 15.1 データ収集の流れ

#### 15.1.1 データ形式

最初に、この機器を利用して得られるデータの形式について説明します。測定されたデータは 2 つの形式で保存されます。1 つは「cbldata」という「data」形式のファイル名で保存されます。一定の時間間隔で測定した場合、1 列目には測定した時間、2 列目には測定したデータが書き込まれています。測定時間は、測定開始時刻を「0」として書き込まれ、測定を繰り返すと、ファイルの内容が書き換えられて行きます。このファイルは、APPSにある Data Matrix Editor でデータ形式を「data」として読み込むことができます。

もう1つのデータは、「list」形式のデータです。「cbldata」のデータの1列目と2列目は、「list」形式(数値や文字を並べたもの)のデータとして、「cbldata」とは別に「l1」「l2」というファイル名で保存されています。これらのデータも、Data Matrix Editor でデータ形式を「list」に指定すれば読み込むことができます。さらに、ある操作を行えば(p.115)、実験を行うたびに測定データを順繰りにシフトさせて、「l2」～「l4」のファイルに保存できます。つまり、合計で3回の測定データを保持することができます。

### 15.1.2 データ収集の流れ

センサーを通じたデータ収集は、数ナビ(TI-89Titanium)とデータ収集器(CBL2)、そして必要なセンサーを用意した上で、以下の手順によります。

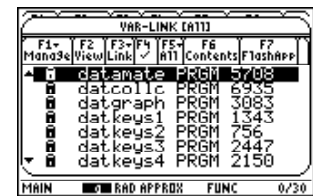
#### (1) ケーブルで接続

数ナビとデータ収集器 CBL2 とをケーブルで接続して、数ナビの電源を入れます。CBL2 側に電源スイッチはありません。

#### (2) ソフトウェアの転送

データ収集を行うには、それを行うソフトウェア(datamate)をCBL2から数ナビに転送する必要があります。転送するには、CBL2の上部左端にある「TRANSFER」のボタンを押します。CBL2は接続されている電卓の種別を自動判断して、必要なプログラム(datamate)を転送します。転送が終了すると、ピープ音が鳴ります。

転送されたかどうかは、数ナビ側で **2nd** **[ ]** (var-link) を押します。すると、数ナビに登録されているファイルやソフトウェアの一覧が表示されます。転送が終了していると、「datamate」の他に、「dat」で始まる多数のファイル群が表示されます。この転送作業は、使用する数ナビに対して一度行えば、その後は転送作業は不要です。

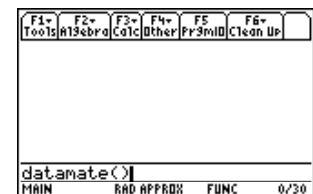


#### (3) センサーの接続

次に、センサーを接続します。左側に接続口が3個あるので、センサーが1個だけのときはCH1に、2個のセンサーを接続するときはCH1とCH2に接続します。右側にある「DIG/SONIC」の箇所は、距離センサーを利用するときに使います。ここでは、温度センサーをCH1に接続するものとして説明します。

#### (4) DataMate の起動

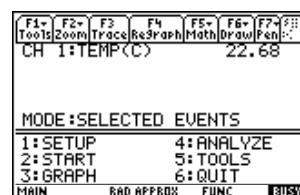
センサーを接続したら、数ナビの基本画面(HOME)で、データ収集用のソフトウェア(datamate)を起動させます。入力行で、**[alpha]**を利用して「datamate( )」と打ちこみ **[ENTER]** を押します。「datamate」はプログラム名です。括弧内には引数を入れることになりませんが、datamateは引数は持たないので、括弧内に何も打ち込む必要はありません。引数がない場合でも、括弧( )は省略できません。



起動すると、datamateは接続されているセンサーを自動的に判別し、そのセンサーを利用するためのソフトウェアを自動的に組み込みます。

(5) メイン画面

DataMate が正しく起動すると右図のようなメニュー画面が現れ、画面上部には接続されているセンサーの名称と、そのセンサーによる現在の測定値がリアルタイムで表示されます。この画面が、DataMate のメイン画面です。種々の設定や実際のデータ収集は、この画面から行います。



(6) データ収集の諸設定

多くのセンサーは自動検出型になっているので、特に細かい指定をすることなくデータ収集を開始できるはずですが、デフォルトでは、毎秒 1 個のデータを 3 分間 (180 秒) 収集するように設定されています。それが、上段の「MODE」の箇所に表示されている「TIME GRAPH-180」ということです。必要であればこの設定を変更します。

この設定を変更するには、**▲** **▼** を利用して **▶** を「MODE」の箇所に移動させて **ENTER** を押します。すると、「SELECT MODE」画面が現れます。(p.27) ここで表示されるメニューのうち、実際の実験で使用しそうなものは 2~5 のメニューです。



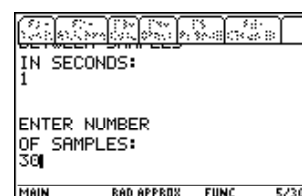
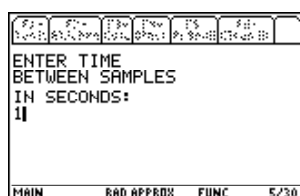
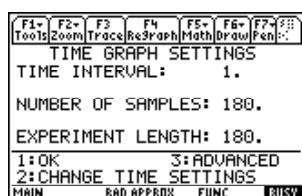
SELECT MODE 画面

● 2: TIME GRAPH

「2」を押すと、測定間隔 (秒) と測定回数を指定することができます。デフォルトでは、毎秒 1 回のデータを 3 分間 (180 秒) 測定するように設定されています (p.9~10)。「2: TIME GRAPH」を押すと、3 つのメニューが表示されます。

「1: OK」を押すと前の画面に戻ります。

「2: CHANGE TIME SETTINGS」を選択すると、「TIME BETWEEN SAMPLES」(データ測定の時間間隔) や「NUMBER OF SAMPLES」(測定データの個数, 測定回数) を指定することができます。この 2 つの値を指定することで「3: EXPERIMENT LENGTH」(測定時間) は自動的に決まります。測定間隔は秒単位で求められますが、単位が「秒」というだけであり整数である必要はありません。相当細かい時間間隔での測定が可能です。



● 3: EVENTS WITH ENTRY

「3」を押すだけで、「MODE」の箇所が「EVENTS WITH ENTRY」に変更されます。この設定を行ってメイン画面に戻って「2: START」を押すと、**ENTER** を押すたびにデータを 1 つ集め、そのデータと 1 つの数値とを関連付けます。「PRESS [ENTER] TO COLLECT」と表示されたら **ENTER** を押してデータを収集します。次に「ENTER VALUE ?」と表示されるので、収集したデータに関連させる数値を打ち込みます。この作業を繰り返すことになります。データ収集を打ちきるときは **STO** を押します。

- 4: SINGLE POINT

「4」を押すだけで、「MODE」の箇所が「SINGLE POINT」に変更されます。これを指定してメイン画面から「2: START」を押すと、1秒間に1回のデータを10秒間収集し、その平均の値を表示します。この場合は、データとしては1個の平均しか表示されません。その値は、画面には表示されてもファイルには記録されません。また、データ収集の時間間隔や、測定回数も変更できません。

- 5: SELECTED EVENTS

「5」を押すだけで、「MODE」の箇所が「SELECTED EVENTS」に変更されます。この設定を行ってメイン画面に戻って「2: START」を押すと、を押すたびにデータを1つ集めます。測定中のデータは画面に表示され時間とともに変化しています。「PRESS [ENTER] TO COLLECT」と表示されるので、を押すごとに押した瞬間のデータが収集されます。収集を打ちきるときはを押します。

収集したデータは、データ収集を行った回数の数値とともにファイル (cbldata) に記録されます。つまり、 $n$  回目の測定値を  $x$  とすると、1列目には  $n$  の値、2列目には対応する測定値  $x$  の値が保存されます。

## (7) データの収集

必要な設定が終わったら、「OK」の箇所を何度か押して、最初のメイン画面に戻ります。そして、「2: START」を押せばビープ音と共にデータの収集が開始され、収集したデータが画面にプロットされていきます。設定した時間が終了するとビープ音が鳴ってデータ収集を終了し、改めて画面設定を最適化してグラフを表示します。を押すと、メイン画面に戻ります。

## (8) データの解析

得られたデータを近似する回帰直線や回帰曲線を求めたいときは、「4: ANALYZE」を利用します。直線回帰 ( $y = ax + b$ ) や、放物線回帰 ( $y = ax^2 + bx + c$ )、べき乗回帰 ( $y = a \cdot b^x$ )、指数回帰 ( $y = a \cdot e^{bx}$ ) を行うことができます。

これ以外の回帰を行いたいときは、いったん DataMate を終了します。収集したデータは cbldata というファイル名で保存されているので、の Data Matrix Editor からこのファイルを開けば、エクセルと同様の表計算や統計機能を利用したデータ解析を行うことができます。

## (9) パソコンへのデータ転送

CBL2 で収集したデータは、数ナビ側に cbldata というファイル名で保存されています。このファイルをパソコンに転送して、エクセルで種々の解析を行うこともできます。また、DataMate が表示するグラフ画面をキャプチャーして、パソコンにファイル保存することもできます。

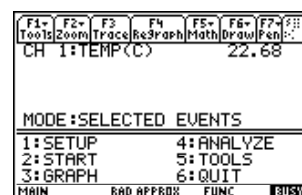
いずれも「TI-CONNECT」(フリーソフト) というソフトウェアをパソコンにインストールする必要があります。このソフトのインストールの仕方や使用方法については、別途説明します。

## 15.2 データ収集の詳細

前節と重複する部分もありますが、以下では datamate のメイン画面の詳細について説明します。

## 15.2.1 データ収集と諸設定

DataMate が正しく起動すると右図のような内容のメニュー画面が現れ、画面上部には接続されているセンサーの名称と、そのセンサーによる現在の測定値がリアルタイムで表示されます。この画面が、DataMate のメイン画面です。種々の設定や実際のデータ収集は、この画面から行います。



**注意** このメニューを通して変更を行った後は、必ずこの「メイン画面」にまで戻ってください。実際のデータ収集は、このメイン画面で「2: START」を押すことで実行されます。このことは、他の箇所でのいろいろな変更を加えたときも同様です。種々の設定を行って実際のデータを収集するには、このメイン画面まで戻ることが必要です。

## メイン画面の内容

- 1: **SETUP** 接続したセンサーが自動検出されて必要な設定が行われます。接続したセンサーを検出できないときは、このメニューから使用するセンサーを設定することができます。なお、自動検出型ではないセンサーの場合は、このメニューから手動で設定する必要があります。圧力センサーや pH センサーは手動で設定する必要があります。
- 2: **START** これを選択すると、設定された条件によりデータの収集を開始します。
- 3: **GRAPH** 収集したデータの最小値や最大値をもとに、画面の範囲を自動的に適正化して、グラフを表示します。
- 4: **ANALYZE** 直線回帰、2 次回帰、べき乗回帰、指数回帰などの統計計算を行います。
- 5: **TOOLS** 収集したデータを数ナビ側に転送したり、電池消耗度のチェックなどを行います。
- 6: **QUIT** このメニューを終了します。

## 1: SETUP

接続されているセンサーを確認したり、センサーの調整などを行うには、「1: SETUP」を利用します。「1: SETUP」を選択すると、どのようなセンサーが接続されているかが表示され、それぞれのセンサーについて、測定回数やデータ収集時間の間隔などを調整 (CALIBRATE) することができます。なお、パソコンとい違い、番号を押してから次の画面が表示されるまでに多少の時間がかかるので、気長に待ってください。「1: OK」「2: CALIBRATE」「3: ZERO」「4: SAVE/LOAD」の 4 つのメニューが表示されます。それぞれ、次のような内容です。

- (1) 「1: OK」を押すと、メイン画面に戻ります。
- (2) 「2: CALIBRATE」を押すと、センサーに対して種々の調整を行うことができますが、すべてのセンサーについて調整可能なわけではありません。このメニューから調整できないときは、「2」を押しても画面は切り替わりません。

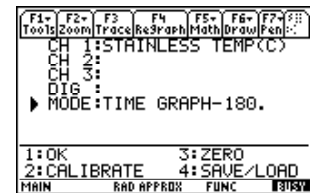


複数のセンサーを接続しているときは、画面上部にどのチャンネルに接続されているかが表示されるので、これから調整を行うセンサーの左側に ▶ があることを確認してから「2」を押してください。その位置は ▲, ▼ で変更することができます。

- (3) 「3: ZERO」を押すと、現在の測定値をゼロとして設定します。ただし、すべてのセンサーでゼロ点の設定ができるわけではありません。温度センサーや光センサーでは、このメニューからゼロ点の設定はできません。
- (4) 「4: SAVE/LOAD」を押すと、データ収集用の各種の設定や、これを押す直前に行った測定データを CBL2 に保存することができます。「4」を押すと「Experiment Menu」が表示されるので、そのメニューから、データの保存・呼び出し・消去などを行うことができます。

#### 実際の調整

実際のデータを収集するには、データを収集する時間の間隔や、何個のデータを収集するのか等について細かく指定する必要があります。デフォルトでは、1秒間に1個のデータを3分間(180秒)収集するように設定されています。それが、上段の「MODE」の箇所に記されている「TIME GRAPH-180」ということです。



この設定を変更するには、**▲** **▼** を利用して **▶** を「MODE」の箇所に移動させて **ENTER** を押します。すると、「SELECT MODE」画面が現れます。(p.27) ここで表示されるメニューのうち、実際の実験で使用しそうなものは2~5のメニューです。

#### SELECT MODE 画面

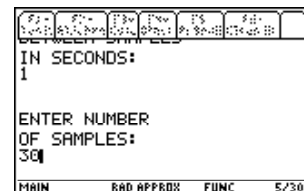
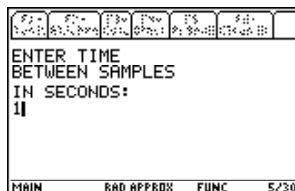
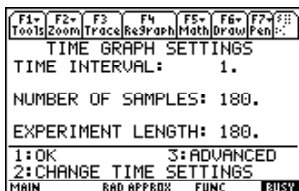
- 2: TIME GRAPH

「2」を押すと、測定間隔(秒)と測定回数を指定することができます。デフォルトでは、毎秒1回のデータを3分間(180秒)測定するように設定されています(p.9~10)。「2: TIME GRAPH」を押すと、3つのメニューが表示されます。



「1: OK」を押すと前の画面に戻ります。

「2: CHANGE TIME SETTINGS」を選択すると、「TIME BETWEEN SAMPLES」(データ測定の時間間隔)や「NUMBER OF SAMPLES」(測定データの個数, 測定回数)を指定することができます。この2つの値を指定することで「3: EXPERIMENT LENGTH」(測定時間)は自動的に決まります。測定間隔は秒単位で求められますが、単位が「秒」というだけであり整数である必要はありません。相当細かい時間間隔での測定が可能です。



- 3: EVENTS WITH ENTRY

「3」を押すだけで、「MODE」の箇所が「EVENTS WITH ENTRY」に変更されます。この設定を行ってメイン画面に戻って「2: START」を押すと、**ENTER** を押すたびにデータを1つ集め、そのデータと1つの数値とを関連付けます。「PRESS [ENTER] TO COLLECT」と表示されたら **ENTER** を押してデータを収集します。次に「ENTER

VALUE ?」と表示されるので、収集したデータに関連させる数値を打ち込みます。この作業を繰り返すこととなります。データ収集を打ちきるときは **[STO]** を押します。

- 4: SINGLE POINT

「4」を押すだけで、「MODE」の箇所が「SINGLE POINT」に変更されます。これを指定してメイン画面から「2: START」を押すと、1 秒間に 1 回のデータを 10 秒間収集し、その平均の値を表示します。この場合は、データとしては 1 個の平均しか表示されません。その値は、画面には表示されてもファイルには記録されません。また、データ収集の時間間隔や、測定回数も変更できません。

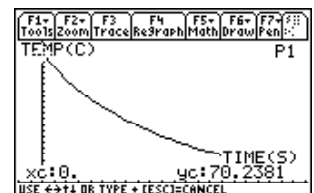
- 5: SELECTED EVENTS

「5」を押すだけで、「MODE」の箇所が「SELECTED EVENTS」に変更されます。この設定を行ってメイン画面に戻って「2: START」を押すと、**[ENTER]** を押すたびにデータを 1 つ集めます。測定中のデータは画面に表示され時間とともに変化しています。「PRESS **[ENTER]** TO COLLECT」と表示されるので、**[ENTER]** を押すごとに押した瞬間のデータが収集されます。収集を打ちきるときは **[STO]** を押します。

収集したデータは、データ収集を行った回数の数値とともにファイル (cbldata) に記録されます。つまり、 $n$  回目の測定値を  $x$  とすると、1 列目には  $n$  の値、2 列目には対応する測定値  $x$  の値が保存されます。

## 2: START

いろいろな設定を終えたら、「OK」あるいは「RETURN ...」の箇所を押して、最初のメイン画面にまで戻ってください。そのメイン画面で「2: START」を押すことでデータ収集が行われます。「2」を押すと、ビープ音とともにデータ収集が開始され、収集した値が画面にプロットされます。



データを収集するたびに、画面範囲は自動的に適正化されていきます。指定した回数 (あるいは時間) の測定が終わると、ビープ音が鳴り測定が終了します。そして、全データを画面に表示できるように画面範囲が改めて最適化されてグラフが表示されます。**[ESC]** を押すと、グラフから抜け出てメイン画面に戻ることができます。右上図は、77 度のお湯に入れて熱したステンレスセンサーを室外に放置し、毎秒 1 個のデータを 30 個測定したときのグラフです。30 秒後は 50 度まで低下しています。

## 3: GRAPH

センサーが 1 つの場合は、データの測定が終了すると、「3: GRAPH」を押さなくても自動的に画面が最適化されてグラフが表示されます。グラフから抜け出てメイン画面に戻ってから、もう一度そのグラフを表示したいときは、「3」を押せばグラフが再度表示されます。

### GRAPH MENU 画面

センサーが複数の場合は、データ測定が終了すると自動的に「GRAPH MENU」画面になります (p.12~13)。この画面では、どのセンサーで収集したグラフを表示するかを指定できます。

画面の上部に「CH1」「CH2」「CH2 VS. CH1」の3つが表示されるので、どのセンサーのデータを表示するかを  $\blacktriangledown$   $\blacktriangle$  で  $\blacktriangleright$  を移動させて選択します。「CH2 VS. CH1」を指定すると、横軸に「CH1」のデータを、縦軸には「CH2」のデータを取ったグラフが表示されます。 $\text{[ENTER]}$  を押すと選択したデータのグラフが表示され、もう一度  $\text{[ENTER]}$  を押すと「GRAPH MENU」画面に戻ります。

- 2: SELECTD REGION

グラフの特定部分だけを切り取って再表示させたいときは「2: SELECT REGION」を選択します (p.13)。最初に「SELECT LEFT BOUND」と表示されるので、 $\blacktriangleleft$   $\blacktriangleright$  で選択したい部分の左端を指定して  $\text{[ENTER]}$  を押します。次に「SELECT RIGHT BOUND」と表示されるので、同様に右端を指定して  $\text{[ENTER]}$  を押すと、指定した部分が切り取られて画面に再表示されます。

- 3: RESCALE

グラフの目盛りを変更したいときは「3: RESCALE」を押します (p.14)。横軸や縦軸の両端の値を手動で指定することができます。

「1: AUTOSCALE」では、自動で最適な範囲が設定されます。

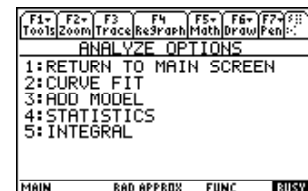
「2: XSCALE」では、 $x$  軸の左端 ( $x_{\min}$ ) と右端 ( $x_{\max}$ ) を指定できます。

「3: YSCALE」では、 $y$  軸の下端 ( $y_{\min}$ ) と上端 ( $y_{\max}$ ) を指定できます。

「4: RETURN」で元の画面 (GRAPH MENU) に戻ります。

#### 4: ANALYZE

「4」を選択すると、「ANALYZE OPTIONS」の画面が表れます。この画面を通して、測定したデータをよく近似する曲線の当てはめや、平均や標準偏差等の基本統計量を計算することができます。



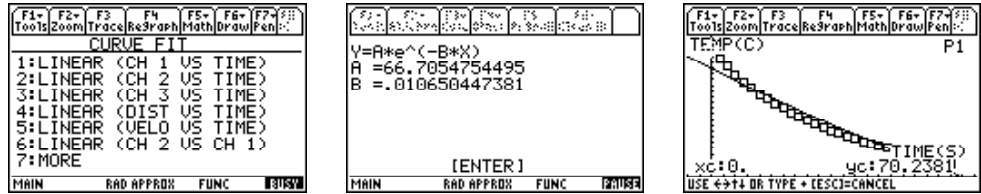
##### ANALYZE OPTIONS 画面

- 2: CURVE FIT

「2」を選択すると回帰モデルの一覧が表示されるので、モデルの種類を指定します。「LINEAR」を指定すると直線回帰を行い、データを最もよく近似する直線  $y = ax + b$  を求めます。「Y VS. X」により、 $y$  軸と  $x$  軸にどの値を取るかを指定します。時間に対する、各チャンネルデータの直線回帰や、複数センサー間のデータの直線回帰の他に、「7: MORE」を押すことで「Power」はべき乗関数  $y = a \cdot b^x$ 、「Quad」は2次関数  $y = ax^2 + bx + c$ 、そして「Exp」は指数関数  $y = a \cdot e^{-bx}$  による回帰もできます。それぞれの係数を表示した後で、 $\text{[ENTER]}$  を押すと求めた回帰曲線がグラフ表示されます。下図は、指数回帰を選択した場合の図です。

なお、これ以外の曲線で回帰したい場合は、DataMate を抜け出て、 $\text{[APPS]}$  にある「Data Matrix Editor」を利用することになります。





● 3: ADD MODEL

「3」を選択すると、自分で回帰モデルの式を入力することができます。ただし、この機能を利用するには、DataMate を起動する前に **[F1]** を押して関数定義画面の箇所モデル式を事前に定義しておくことが必要になります。

● 4: STATISTIC

「4」を選択してデータの上限と下限を指定すると、その範囲内にあるデータに関して、平均、最大値、最小値、標準偏差、そしてデータ数を表示します。

● 5: INTEGRAL

自分で範囲を指定することにより、その範囲内でグラフを積分した値を表示します。

5: TOOLS

「TIME GRAPH」の設定で測定すると、1 列目にはデータ収集を開始してからの時間、2 列目にはその時間の測定データを書き込んだ表データ「cbldata」として、数ナビ側に自動的に転送されます。1 つのセンサーで測定すると、測定を繰り返すごとにデータファイル「cbldata」の内容は次々に上書きされていきます。

	c1	c2	c3
1	0.	70.2381	0.
2	1.	68.409	
3	2.	67.	
4	3.	65.667	

一方、測定データはリスト形式(数値を並べたもの)でも保存されています。測定時間は「11」、測定データは「12」というファイル名で保存され、測定を繰り返すとその内容が上書きされていきます。要するに、cbldata の 1 列目だけのデータが「11」で、2 列目だけのデータが「12」です。測定データを保存しておきたいとき、「12」のデータを「13」にシフトさせることができます。この操作を行うと、次に測定を行ったときのデータは「12」に保存され、最初の行ったデータは「13」に残っていることとなります。データは「14」までシフトさせることができるので、「12」～「13」の計 3 回分の測定データを保存しておくことができます。

以上の操作は、「5: TOOLS」を押して現れる「TOOLS 画面」の「2: STORE LATEST RUN」で行うことができます。

なお、**[APPS]** の Data Matrix Editor を利用すると、以上のようなリスト形式のデータを一つの表にまとめることもできます。

TOOLS 画面

● 1: STORE LATEST RUN

「1」を押すと、保存済みのデータを「12」から「13」にシフトさせます。つまり、「12」の内容が「13」にコピーされます。「1」を押すごとに保存済みの内容は「1n」の「n」の番号が 1 つ増え、最大で「12」～「14」まで合計 3 回の実験データを保存することができます。



この機能は、距離センサーでは使用できません。また、複数のセンサーを使用しているときも使用できません。

- 2: RETREIVE DATA

CBL2 は、数ナビと接続しなくてもセンサーを通したデータ収集を行い、そのデータを CBL2 内に保存しておくことができます（「Quick Set-Up」の機能）。この操作は、そのようにしてデータを収集したとき、そのデータを数ナビ側に転送するときに必要になります。「2」を押すと、CBL2 に保存していた測定データが数ナビ側に転送されます。

- 3: CHECK BATTERY

「3」を押すと、CBL2 の電池の残量をチェックします。CBL2 はかなり電池を消耗するので、長時間の実験を行うときは AC アダプターを利用するようにしてください。

- 4: RETURN TO MAIN SCREEN

メイン画面に戻ります。

## 6: QUIT

実験を終了して datamate を終了するときに押します。終了してよいかどうかの確認を求めるメッセージ画面が現れるので、**[F5]** を押すことで基本画面 (HOME) に戻ります。



画面の最初に表示されているのは、データ収集の時間はリストの「11」に、CH1 に接続されたデータは「12」に、CH2 に接続されたデータは「13」に、そして CH3 に接続されたデータは「14」に保存されていることを示しています。これらのデータの詳細は、**[APPS]** の Data Matrix Editor を利用すれば見ることができます。

また、センサーが 1 個しか接続されていないときは、すでに述べたように「5: TOOLS」を利用すれば「12~14」をデータの保存場所として利用することができます。