

健康統計学 第5回

今回は、相関と回帰（テキスト33～44ページ）について学習します。

テキスト

- 『やさしい保健統計学 改訂第5版』 縣 俊彦著 (南江堂)

今回の内容

1. [相関](#)
2. [回帰](#)
3. [Excelで相関係数と回帰直線を計算](#)
4. [Excelで散布図と回帰直線を作成](#)

相関 (correlation)

2種類のデータの間には何らかの関係がある場合、統計学的な関係性がみられるときに、「相関がある」や「相関関係がある」といいます。

- データの大小に関して、一方の値が変わるにつれて、もう一方の値も変わる
 - 身長と体重
 - 収縮期血圧と拡張期血圧

データの尺度と相関関係

データを大雑把に、量的データ（比例尺度、間隔尺度）と質的データ（順序尺度、名義尺度）に分けるときに、データの尺度によって、相関関係を表す指標は異なります。次の表を参考にしてください。

2つのデータの尺度	相関関係を表す指標
量的データ×量的データ	ピアソンの積率相関係数
順位データ×順位データ	スピアマンの順位相関係数
量的データ×質的データ	相関比
質的データ×質的データ	クラメールの連関（関連）係数

この授業では、よく利用される、ピアソンの積率相関係数とスピアマンの順位相関係数を扱います。

相関係数 (correlation coefficient)

相関の種類

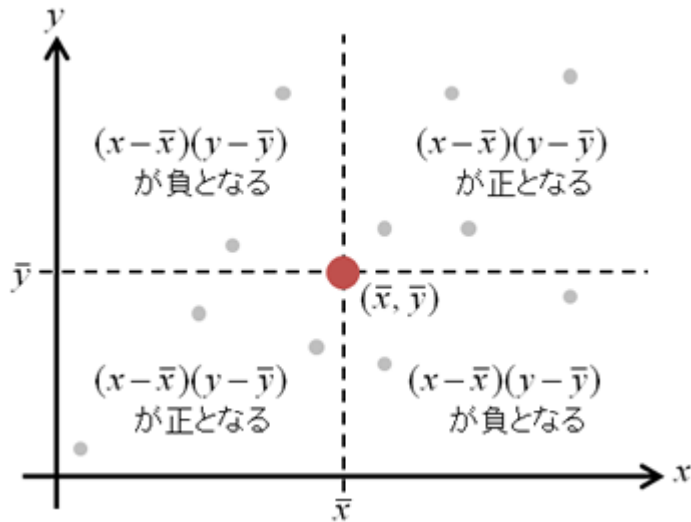
- 線形相関: 相関(関係)を示すグラフ(散布図)が1本の直線で近似できる
 - 順相関: 相関が正の場合(散布図が右肩あがりの傾向)
 - 逆相関: 相関が負の場合(散布図が右肩さがりの傾向)
 - 無相関: 相関がない場合(散布図がまばらになっている)
- 非線形相関: 相関を示すグラフが指数関数や2次・3次関数のように曲線状になる

偏差積和

- 偏差積和(偏差の積の総和) S_{xy} とは、偏差(各データと平均の差)の積の総和である。

$$\begin{aligned} S_{xy} &= \sum_{i=1}^n d_x d_y \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \end{aligned}$$

- 標本数: n
- 偏差: d_x, d_y
- 偏差の積とデータの分布は次のようなイメージになる



相関係数（ピアソンの積率相関係数）

- 相関係数(ピアソン(Pearson)の積率相関係数) r は、相関の程度をあらわし、次の値をとる。
(一般に相関係数といえばコレ)

$$-1 \leq r \leq +1$$

- 完全相関: 相関係数がちょうど ± 1 の場合
- 無相関: 相関係数が 0 の場合
- 相関係数 r は、次の式で求められる

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{s_x s_y} = \frac{1}{n} \frac{S_{xy}}{s_x s_y}$$

- 標本数: n
- 標準偏差: s_x, s_y
- 偏差積和: S_{xy}
- または、次の式でも求められる(統計量だけから計算できる)

$$r = \frac{1}{s_x s_y} \left(\frac{\sum x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y} \right) = \frac{1}{s_x s_y} \left(\frac{T_{xy}}{n} - \bar{x} \bar{y} \right)$$

- 積和(2変数の積の合計):

$$T_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

共分散 (covariance)

- 共分散 s_{xy} は、偏差積和を標本数で割ったもの。

$$\begin{aligned}
s_{xy} &= \frac{1}{n} S_{xy} \\
&= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\
&= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_x \cdot d_y
\end{aligned}$$

- 標本数: n
 - 偏差: d_x, d_y
- 共分散 s_{xy} を使うと、相関係数は次のように表せる。

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

偏差平方和

- 偏差平方和 S_{xx} または S_{yy} は、偏差の二乗の合計を計算したもの

$$\begin{aligned}
S_{xx} &= \sum_{i=1}^n d_x^2 \\
&= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{yy} &= \sum_{i=1}^n d_y^2 \\
&= \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2
\end{aligned}$$

- x と y についての偏差平方和 S_{xx} と S_{yy} を使うと、相関係数は次のように表せる。

$$\begin{aligned}
r &= \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \\
&= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}
\end{aligned}$$

相関関係と因果関係

相関関係から因果関係を確定するときの注意点

何でもよいから2組のデータの関係性を調べればよいわけではありません。次のような5つの因果関係が認められる場合に、相関関係を調べるのが有効になります。

1. 関連の時間性
 - 原因は結果の前にあるか
2. 関連の密接性
 - 原因が結果に密接に関連するか

3. 関連の特異性

- 原因が結果にどの程度かかわっているか

4. 関連の普遍性

- 対象や時期、方法などが異なっても、類似した結果が得られるか

5. 関連の合理性

- 従来の理論や経験から考えて矛盾がないか

疑似相関（見かけの相関）

直接の相関はないが、**何かある要因が2つの事象と相関している**ために、2つの事象に相関がみられるケースがあります。

このような場合を「**疑似相関**」といいます。つまり、相関関係があるからといって、それが必ずしも因果関係であるとは限らない場合です。

- 「ビアホールでの生ビールの売り上げ数」と「アイスクリーム店のお客の数」
 - 2つの事象には「気温」「天候」などが相関している
- 「進行性の疾患をもつ患者の疾患についての知識」と「その疾患の進行度」
 - 2つの事象には「疾患の内容」「治療期間」などが相関している

相関の程度

相関係数の値から、相関の程度を次のように記述できます。

-1.0	相関係数 $r < -0.7$	強い負の相関がある
-0.7	相関係数 $r < -0.4$	かなりな負の相関がある
-0.4	相関係数 $r < -0.2$	やや負の相関がある
-0.2	相関係数 r 0.2	ほとんど相関がない
0.2	相関係数 r 0.4	やや正の相関がある
0.4	相関係数 r 0.7	かなりな正の相関がある
0.7	相関係数 r 1	強い正の相関がある

なお、標本数が少ない場合は、母相関係数の推定や検定（後日説明）が必要となります。

順位相関係数（rank correlation coefficient）

相関がない場合や順位に意味がある・順位だけしかわからない場合には、順位データ（データを小さいほうから並べた順位）をもとに、相関を求める方法が有効になります。

- 英語のテストの順位と数学のテストの順位の間
- 2つの銘柄の株価の相関（経済分野）
- 薬と奇形児発生の相関（医学分野）

また、順位尺度のデータだけでなく、比例・間隔尺度のデータについても何らかの順位を求めることで適用できます。

- スピアマン (Spearman) の順位相関係数 r_s は、相関係数と同様、次の値をとる。

$$-1 \leq r_s \leq +1$$

- 同一順位の場合は、次のように扱う（平均順位）
 - 2位が2つある場合：2位と3位の間 $(2+3)/2=2.5$ 位を順位とする
 - 4位が3つある場合：4位と5位と6位の間 $(4+5+6)/3=5$ 位を順位とする
- 順位相関係数は、次のようにして求められる。

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}$$

○ 標本数: n

○ i 番目の順位差: d_i

データ1の順位	データ2の順位	順位差 d	順位差の二乗 d^2
x_1	y_1	$d_1 = x_1 - y_1$	d_1^2
x_2	y_2	$d_2 = x_2 - y_2$	d_2^2
x_3	y_3	$d_3 = x_3 - y_3$	d_3^2
...
x_n	y_n	$d_n = x_n - y_n$	d_n^2
計		0	$\sum_{i=1}^n d_i^2$

回帰 (regression)

データをもとに、ある変数（**従属変数**または**目的変数**）を別の変数（**独立変数**または**説明変数**）で予測する式を作るための統計的手法を、「**回帰分析**」（regression analysis）といいます。

とくに、独立変数が1つだけの場合を**単回帰分析**といいます。複数の独立変数で1つの従属変数を予測する場合は**重回帰分析**といいます。

回帰直線 (regression line)

回帰直線

- 散布図の各点 (x_i, y_i) が近くに分布するような直線を回帰直線という。

$$y = ax + b$$

- 回帰係数(回帰直線の傾き): a
 - 回帰直線のy切片 ($x=0$ のときのyの値): b
 - 独立変数(説明変数: 予測に使う変数): x
 - 従属変数(目的変数、基準変数: 予測したい変数): y
- なお、回帰式は必ず (\bar{x}, \bar{y}) を通る

最小二乗法 (least squares method)

- 観測値(または実測値) y_i と推定値(または予測値) \hat{y}_i との差(残差 ϵ) の2乗の和が最小になるような a と b を求める。
- 次の値が最小となるような、 a と b を求める。

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

- 残差の二乗 ϵ^2 を足したものを、残差平方和 S_ϵ という

$$S_\epsilon = \sum \epsilon^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

回帰式の計算

- x を独立変数(横軸)、 y を従属変数(縦軸)としたときの回帰式 (y への x からの回帰式) は次のようになる。

$$y = r \cdot \frac{s_y}{s_x} x + \left(\bar{y} - \frac{s_{xy}}{s_x^2} \bar{x} \right)$$

- なお、回帰式を $y = ax + b$ とすると、 a と b は次のようになる。

$$a = r \cdot \frac{s_y}{s_x} = \frac{s_{xy}}{s_x^2}$$

$$b = \bar{y} - \frac{s_{xy}}{s_x^2} \bar{x} = \bar{y} - \bar{x}a$$

- 相関係数: r
- 2変数の標準偏差: s_x, s_y
- 2変数の共分散(偏差積和の平均)

$$s_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

- 回帰式を変形すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} y - \bar{y} &= \frac{s_{xy}}{s_x^2} (x - \bar{x}) \\ &= \frac{S_{xy}}{S_{xx}} (x - \bar{x}) \end{aligned}$$

- 2変数の平均値: \bar{x}, \bar{y}
- 2変数の偏差積和: S_{xy}

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n d_x \cdot d_y = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

- 偏差平方和: S_{xx}

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n d_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

標準誤差 (standard error)

- 予測値と実測値のずれ(予測値 \hat{y} との誤差; 残差 ϵ)について考える

$$\hat{y} = ax_i + b + \epsilon$$

- 残差の標準偏差を、標準誤差 s_ϵ という

$$\begin{aligned} s_\epsilon &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n-2}} \\ &= \sqrt{\frac{S_\epsilon}{n-2}} \end{aligned}$$

- $n-2$ で割っているのは、2つの係数を推定したことによる自由度(後日説明)の修正のため

決定係数 (coefficient of determination)

- 相関係数の二乗を決定係数(または寄与率) R^2 という。

$$\begin{aligned} R^2 &= \left(\frac{1}{n} \frac{S_{xy}}{s_x s_y} \right)^2 \\ &= \frac{S_{xy}^2}{n^2 \cdot s_x^2 s_y^2} \\ &= \frac{S_{xy}^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2} \\ &= \frac{S_{xy}^2}{S_{xx} S_{yy}} \end{aligned}$$

- 偏差平方和と残差平方和を使うと、次のように書くこともできる

$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{S_{\hat{y}y}}{S_{yy}} \\
 &= \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \\
 &= 1 - \frac{S_e}{S_{yy}}
 \end{aligned}$$

- 決定係数は、0から1の値をとる。

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

- 推定(回帰式)の精度を表す指標である

- 「従属変数 y の分散の何%を予測値 \hat{y} の分散が説明しているか」を示す
 - 別の言い方をすると、「説明変数が従属変数の何%にあたる部分に影響を与えているか(寄与しているか)」を示す
- だいたい、0.5以上であれば精度が高いといえる

回帰の概念

- 予測値 \hat{y} と従属変数の平均 \bar{y} との差は、一般に独立変数 x とその平均 \bar{x} との差より小さくなる
 - 予測値と平均の差 $(\hat{y} - \bar{y})$ との差は、独立変数と平均の差 $(x - \bar{x})$ との差より小さくなる
 - 予測値は独立変数に比べて平均に近づく
- 統計学的な現象で、「回帰効果」や「平均への回帰」ともいう
 - (例)1回目の試験の結果が偏っていた(とくに良い、悪いなど)人について、2回目の試験結果を調べると、その平均値は1回目の結果よりも1回目の全体の平均値に近くなる(時間的には逆で考えてもよい)
 - (例)父親と子どもの身長を比較して、とくに身長の高い父親でも、とくに身長の低い父親からでも、子どもたちの身長は父親たちの身長より平均に近くなる
 - (例)とくに身長の高い人たちの父親の身長は、子どもたちの身長よりも平均に近い(全体の身長の分布は、父親たちも子どもたちも同じ)

Excelで相関と回帰を計算

相関を計算

相関係数

- 2つの配列データの相関係数は、**CORREL**関数を利用します。

CORREL(相関係数の値を返す)

- 書式 : CORREL(配列1, 配列2, ...)
- 引数 : 配列1 ... : データが入力されたセルの範囲
- 引数 : 配列2 ... : もう一方のデータが入力されたセルの範囲
- 例 : データがA1～A10セルとB1～B10までのセルの数値から、相関関数を計算する

```
=CORREL(A1:A10, B1:B10)
```

- ピアソンの積率相関係数は、**PEARSON**関数を利用します。

PEARSON(ピアソンの積率相関係数 r の値を返す)

- 書式 : PEARSON(配列1, 配列2)
- 引数 : 配列1 ... : 独立変数に対応するセルの範囲
- 引数 : 配列2 ... : 従属変数に対応するセルの範囲
- 例 : 独立変数がA1～A10セル、従属変数がB1～B10までのセルの数値から、積率相関関数を計算する

```
=PEARSON(A1:A10, B1:B10)
```

- なお、Excel2004以降は、CORREL関数の結果とPEARSON関数の結果は同じになります。

共分散

- 共分散 (2種類のデータ間での標準偏差の積の平均値) は、**COVAR**関数または**COVARIANCE.P**関数を利用します。

COVAR(共分散の値を返す)

- 書式 : COVAR(配列1, 配列2)
- 引数 : 配列1 ... : データが入力されたセルの範囲
- 引数 : 配列2 ... : もう一方のデータが入力されたセルの範囲
- 例 : データがA1 ~ A10セルとB1 ~ B10までのセルの数値から、共分散を計算する

```
=COVAR(A1:A10, B1:B10)
```

COVARIANCE.P(共分散の値を返す)

- 書式 : COVARIANCE.P(配列1, 配列2)
- 引数 : 配列1 ... : データが入力されたセルの範囲
- 引数 : 配列2 ... : もう一方のデータが入力されたセルの範囲
- 例 : データがA1 ~ A10セルとB1 ~ B10までのセルの数値から、共分散を計算する

```
=COVAR(A1:A10, B1:B10)
```

偏差平方和

- 偏差平方和 (標本の平均値に対する各データの偏差の平方和) は、**DEVSQ**関数を利用します。

DEVSQ(偏差平方和の値を返す)

- 書式 : DEVSQ(数値1, 数値2, ...)
- 引数 : 数値1, 数値2 ... : データが入力されたセルの範囲
- 例 : データがA1 ~ A10セルのセルの数値から、偏差平方和を計算する

```
=DEVSQ(A1:A10)
```

回帰を計算

回帰直線の傾き

- 既知の y と既知の x のデータから回帰直線の傾きには、**SLOPE**関数を利用します。

SLOPE(回帰直線の傾きを返す)

- 書式 : SLOPE(配列1, 配列2)
- 引数 : 配列1 ... : 既知の y (従属変数) に対応するセルの範囲
- 引数 : 配列2 ... : 既知の x (独立変数) に対応するセルの範囲
- 例 : 既知の y (従属変数) がA1 ~ A10セル、既知の x (独立変数) がB1 ~ B10までのセルの数値から、回帰直線の傾きを計算する

```
=SLOPE(A1:A10, B1:B10)
```

回帰直線のy切片

- 既知の y と既知の x のデータから (線形) 回帰直線の y 切片には、**INTERCEPT**関数を利用します。

INTERCEPT(回帰直線の切片を返す)

- 書式 : INTERCEPT(配列1, 配列2)
- 引数 : 配列1 ... : 既知の y (従属変数) に対応するセルの範囲
- 引数 : 配列2 ... : 既知の x (独立変数) に対応するセルの範囲
- 例 : 既知の y (従属変数) が A1 ~ A10 セル、既知の x (独立変数) が B1 ~ B10 までのセルの数値から、回帰直線の y 切片を計算する

```
=INTERCEPT(A1:A10, B1:B10)
```

決定係数

- 既知の y と既知の x のデータから R^2 (決定係数) を求めるには、**RSQ**関数を利用します。

RSQ(r2の値を返す)

- 書式 : RSQ(配列1, 配列2)
- 引数 : 配列1 ... : 既知の y (従属変数) に対応するセルの範囲
- 引数 : 配列2 ... : 既知の x (独立変数) に対応するセルの範囲

```
=RSQ(A1:A10, B1:B10)
```

Excelで散布図と回帰直線を作成

2組のデータの関係性を視覚的に把握するには、「**散布図**」を用います。

また、表計算ソフトのExcelでは、作成した散布図を利用して、「**回帰直線**」（単回帰直線）を描いたり、回帰式を表示することができます。

Excelで散布図の作成

散布図の作成

eラーニングの画面からダウンロードできるExcelのファイルを利用してみます。「【練習】相関と回帰」というシートで作成します。

次のようにして、散布図を作成してみましょう。

1. マウスをドラッグして、B2～C22セルを範囲選択する

	A	B	C
1			最高気
2	データ番号	最高気温 (x)	客数 (y)
3	1	31	38
4	2	26	25
5	3	34	37
6	4	32	31
7	5	33	39
8	6	36	53
9	7	33	41
10	8	32	38
11	9	28	44
12	10	38	58
13	11	30	44
14	12	25	31
15	13	26	41
16	14	21	18
17	15	30	54
18	16	28	42
19	17	23	34
20	18	24	39
21	19	33	49
22	20	31	44

2. 「挿入」タブの「グラフ」グループにある「散布図」ボタンをクリックする
3. メニューから「散布図(マーカーのみ)」を選択する



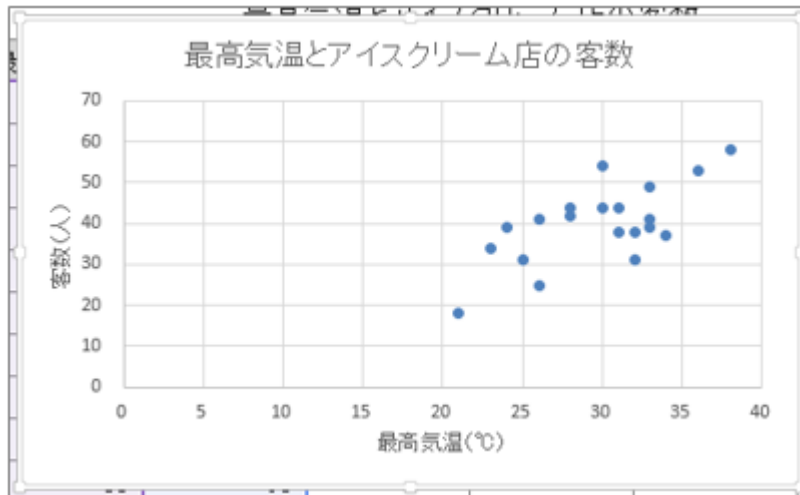
4. グラフが作成される

作成できたら、グラフに次の設定をしてください。

1. メニューの「グラフツール」の「デザイン」にある「グラフ要素を追加」を選択する



- 縦軸の軸ラベルを追加して、「客数(人)」と設定する
- 横軸の軸ラベルを追加して、「最高気温()」と設定する
- グラフのタイトルを「最高気温とアイスクリーム店の客数」設定する



軸の設定

横軸（最高気温）が「0度」から表示されているため、データの分布がグラフの右端に偏ってしまっています。

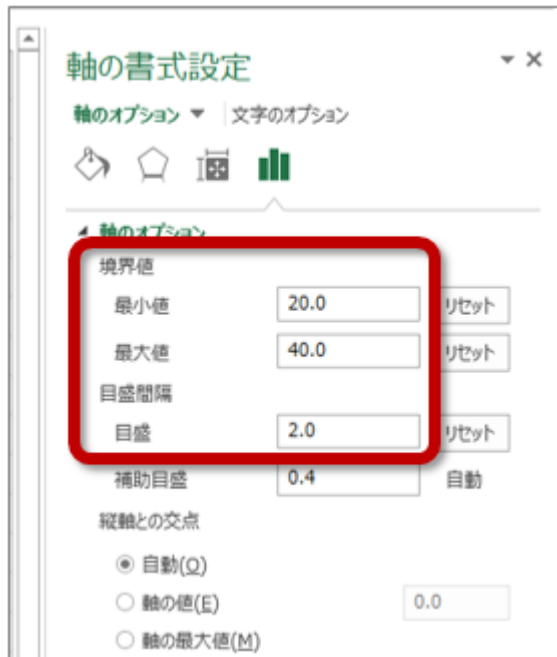
そこで、横軸の範囲を「20度～40度」の範囲に変更してみましょう。

1. グラフの横軸の数字部分を右クリックし、メニューから「横軸の書式設定」を選択する

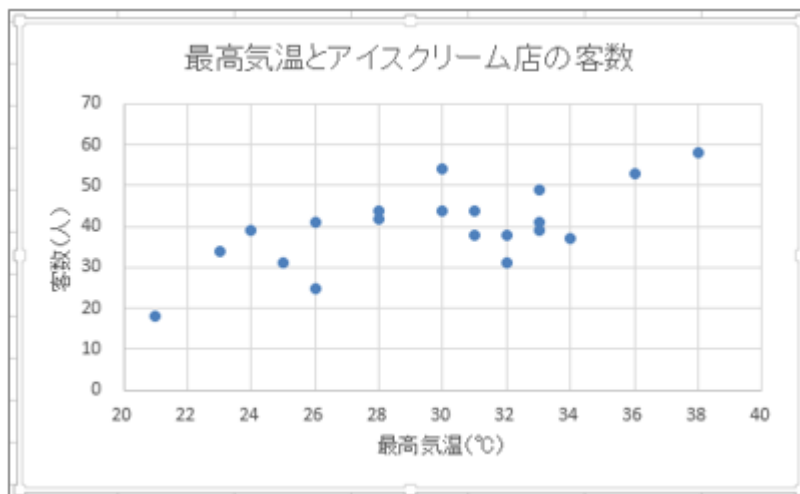


2. 「軸の書式設定」が表示されるので、次のように設定する

- 「最小値」を「固定」に選択して、入力欄に「20.0」と入力
- 「最大値」を「固定」に選択して、入力欄に「40.0」と入力
- 「目盛間隔」を「固定」に選択して、入力欄に「2.0」と入力



3. 「閉じる」をクリックすると、横軸の表示が変更される

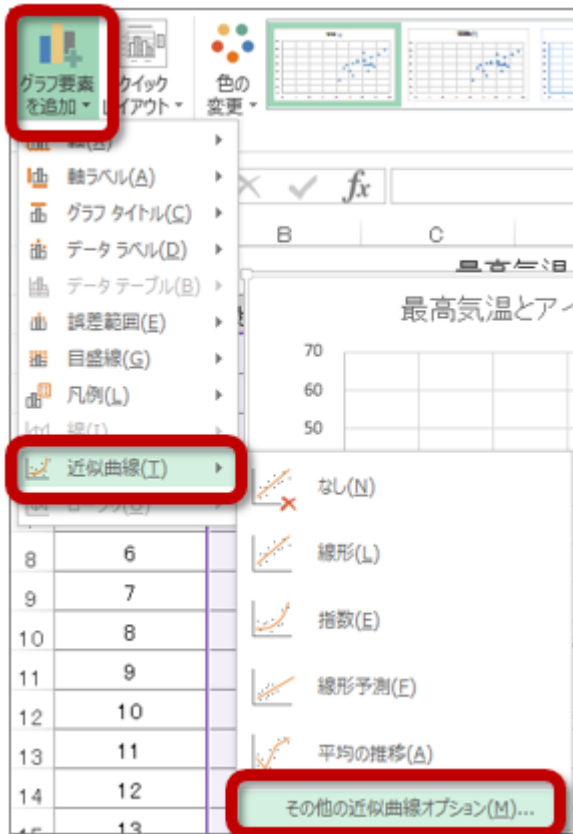


あとは、必要に応じて、縦軸の範囲も設定したり、デザインの変更をすると良いでしょう。

Excelで回帰直線の作成

Excelでは、「近似曲線」という機能で、回帰直線を描くことができます。

1. メニューの「グラフツール」の「レイアウト」にある「近似曲線」「その他の近似曲線オプション」を選択する

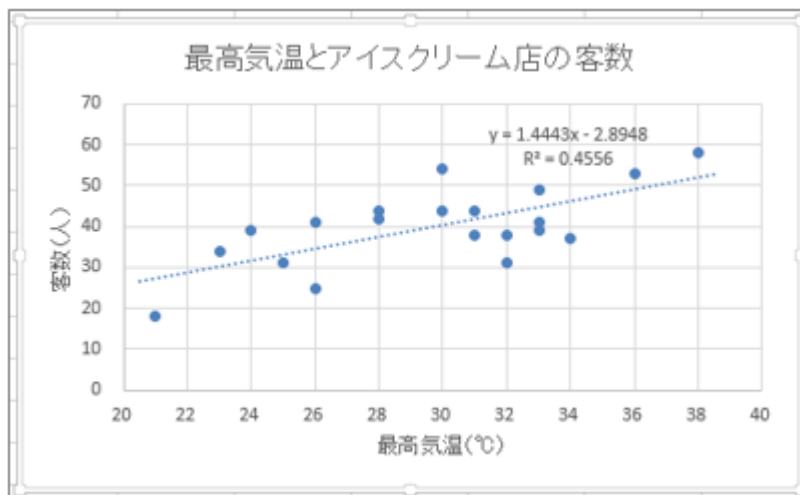


2. 「近似曲線の書式設定」が表示されるので、次のように設定する

- 「近似または回帰の種類」を「線形近似」に選択する
- 「予測」の「前方補外」・「後方補外」の入力欄に、それぞれ「0.5」と入力
- 「グラフに数式を表示する」と「グラフにR-2乗値を表示する」のチェック欄をクリックしてチェックする



3. 「閉じる」をクリックすると、散布図のグラフに回帰直線(と回帰式)が表示される



これで、回帰曲線と同時に、回帰式(傾き、y切片)、決定係数(R²値)が表示されます。