3　2組のデータの解析

3.5 対応のある場合の平均値の差の t 検定

テキスト

芳賀敏郎（2011）医薬品開発のための統計解析

第１部　基礎　改訂版、サイエンティスト社、p.275

第１部　基礎

1. 統計の基礎・・・・・1.1 宝くじの期待値と分散、1.2 サイコロの目の数の期待値と分散
1.3 分散の加法性・中心極限定理・正規分布、1.4 統計的推測、1.5 モデル

2. １組のデータの解析　2.1 データの特徴の記述、2.2 データのグラフ表示と外れ値
2.3 対数変換と対数正規分布、2.4 平均に関する推測（母標準偏差 σ 既知）
2.5 分散に関する推測、2.6 平均に関する推測（母標準偏差 σ 未知）

3. ２組のデータの解析　3.1 データのグラフ化、3.2 平均値の差の t 検定、3.3 分散の違いの検定
3.4 分散が異なる場合の平均値の差の比較
3.5 対応のある場合の平均値の差の t 検定、3.6 検出力と n の決め方
3.7 ノンパラメトリック検定

4. 相関・回帰・・・・・4.1 散布図、4.2 相関係数、4.3 回帰モデルとモデルの推定
4.4 誤差を考慮した推定、4.5 回帰分析適用上の諸問題

3.5 対応のある場合の平均値の差の t 検定

p.152

テキストの
該当ページ

（1）考え方

（2）JMPによる解析

（3）対応のある t 検定の利点

使用するファイル

Excel ファイル「基本改3.xls」

JMP ファイル「3-2群2.jmp」

サイエンティスト社ホームページからダウンロード

JMP 10.0.2 の出力を表示

★プレゼンテーションの
スピーカーノートを、
PDF の注釈に変換してあります

p.152

（1）考え方

「対応のある場合」というのはどういうことか
通常の t 検定を適用できないのはなぜか

対応のあるデータ

p.152

●事例

2 種類の軟膏 A, B を腕に塗布して効果を測定し、効果を比較（課題 3.5）

試験 1 ：被験者 16人を 2 グループに分けて、いずれか 1 種類の軟膏を塗布

試験 2 ：被験者 8人の右手と左手に、それぞれ 1 種類の軟膏を塗布

試験 1

薬剤A	薬剤B
3.31	3.39
2.87	3.29
3.09	3.20
2.93	3.21
3.18	3.17
3.02	3.09
2.95	3.17
3.05	3.09

16 個の観測値

試験 2

被験者	薬剤A	薬剤B
1	3.31	3.39
2	2.87	3.29
3	3.09	3.20
4	2.93	3.21
5	3.18	3.17
6	3.02	3.09
7	2.95	3.17
8	3.05	3.09

16 個の観測値

試験 1

16 人

試験 2

8 人

対応のあるデータ

p.152

●事例

２種類の軟膏 A, B を腕に塗布して効果を測定し、効果を比較（課題 3.5）

試験１：被験者 16人を２グループに分けて、いずれか１種類の軟膏を塗布

試験２：被験者 8人の右手と左手に、それぞれ１種類の軟膏を塗布

考え方

同じ 16 個の観測値があるけれども、データの構造が異なる

試験１：薬剤 A と薬剤 B のデータは独立している

（薬剤 A の 3.18 と 2.95 を交換しても解析結果は同じ）

→　これまでに説明した t 検定で解析

試験２：薬剤 A と薬剤 B のデータは対応している、お互いに独立ではない

（薬剤 A の 3.18 と 2.95 を交換すると解析結果は異なる、交換不可）

→　「対応のある t 検定」で解析

注）試験２の８人の被験者はお互いに独立している

試験１

薬剤A	薬剤B
3.31	3.39
2.87	3.29
3.09	3.20
2.93	3.21
3.18	3.17
3.02	3.09
2.95	3.17
3.05	3.09

交換可能

試験２

被験者	薬剤A	薬剤B
1	3.31	3.39
2	2.87	3.29
3	3.09	3.20
4	2.93	3.21
5	3.18	3.17
6	3.02	3.09
7	2.95	3.17
8	3.05	3.09

対応のあるデータ

p.152

●事例

２種類の軟膏 A, B を腕に塗布して効果を測定し、効果を比較（課題 3.5）

試験１：被験者 16人を２グループに分けて、いずれか１種類の軟膏を塗布

試験２：被験者 8人の右手と左手に、それぞれ１種類の軟膏を塗布

考え方

同じ 16 個の観測値があるけれども、データの構造が異なる

試験１：薬剤 A と薬剤 B のデータは独立している

（薬剤 A の 3.18 と 2.95 を交換しても解析結果は同じ）

→　これまでに説明した t 検定で解析

試験２：薬剤 A と薬剤 B のデータには**対応がある**、お互いに独立ではない

（薬剤 A の 3.18 と 2.95 を交換すると解析結果は異なる、交換不可）

→　「対応のある t 検定」で解析

注）試験２の８人の被験者はお互いに独立している

試験１

薬剤A	薬剤B
3.31	3.39
2.87	3.29
3.09	3.20
2.93	3.21
3.18	3.17
3.02	3.09
2.95	3.17
3.05	3.09

交換可能

試験２

被験者	薬剤A	薬剤B
1	3.31	3.39
2	2.87	3.29
3	3.09	3.20
4	2.93	3.21
5	3.18	3.17
6	3.02	3.09
7	2.95	3.17
8	3.05	3.09

対応がある

交換不可

対応のあるデータ

p.152

●事例

2 種類の軟膏 A, B を腕に塗布して効果を測定し、効果を比較（課題 3.5）

試験 1 ：被験者 16人を 2 グループに分けて、いずれか 1 種類の軟膏を塗布

試験 2 ：被験者 8人の右手と左手に、それぞれ 1 種類の軟膏を塗布

試験 1

薬剤A	薬剤B
3.31	3.39
2.87	3.29
3.09	3.20
2.93	3.21
3.18	3.17
3.02	3.09
2.95	3.17
3.05	3.09

交換可能

考え方

同じ 16 個の観測値があるけれども、データの構造が異なる

試験 1 ：薬剤 A と薬剤 B のデータは独立している

（薬剤 A の 3.18 と 2.95 を交換しても解析結果は同じ）

→　これまでに説明した t 検定で解析

試験 2 ：薬剤 A と薬剤 B のデータには**対応がある**、お互いに独立ではない

（薬剤 A の 3.18 と 2.95 を交換すると解析結果は異なる、交換不可）

→　「**対応のある t 検定**」で解析

注）試験 2 の 8 人の被験者はお互いに独立している

試験 2

被験者	薬剤A	薬剤B
1	3.31	3.39
2	2.87	3.29
3	3.09	3.20
4	2.93	3.21
5	3.18	3.17
6	3.02	3.09
7	2.95	3.17
8	3.05	3.09

交換可能

対応のある t 検定

p.152

- データ

Excel ファイル「基礎改3.xls」を読み込み
名前ボックスから「表示3.5.1」（Fig35_01）を選択

表示3.5.1　対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後
1	3.31	3.39
2	2.87	3.29
3	3.09	3.20
4	2.93	3.21
5	3.18	3.17
6	3.02	3.09
7	2.95	3.17
8	3.05	3.09

対応のある t 検定

p.152

●データ

被験者８人者に、ある薬剤を投与し、投与前と投与後の血液検査値を測定
血液検査値に及ぼす薬剤の効果の有無を解析

投与前と投与後の観測値は、同一の被験者から得られており、
対応がある（独立ではない）
被験者８人は、それぞれが独立している

表示3.5.1　対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後
1	3.31	3.39
2	2.87	3.29
3	3.09	3.20
4	2.93	3.21
5	3.18	3.17
6	3.02	3.09
7	2.95	3.17
8	3.05	3.09

被験者 8 人

被験者 3 について
投与前と投与後の
血液を測定

対応のある t 検定

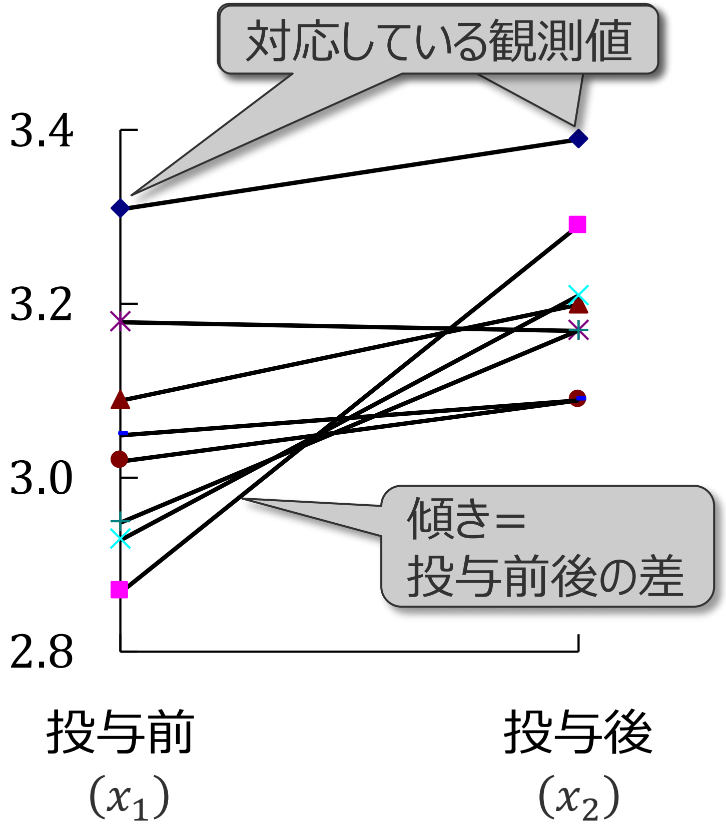
p.152

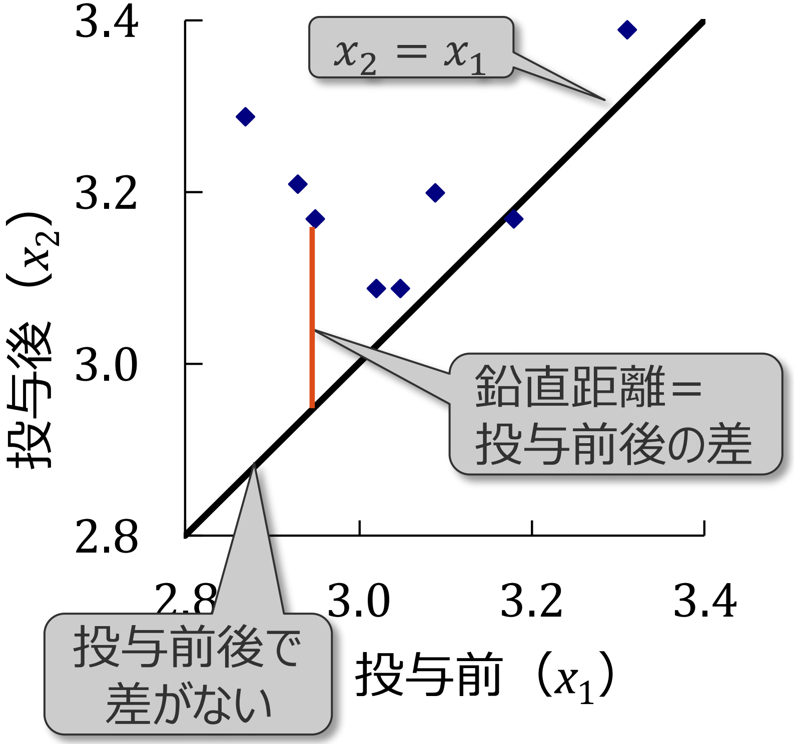
●データの概要

投与前と投与後の時間軸を横軸にしたグラフ：投与前から投与後へ増加傾向、個人差がある

投与前を横軸、投与後を縦軸にしたグラフ：$x_2 = x_1$ の線（投与前後で差がない）の左上にある

投与前から投与後に増加傾向





投与後－投与前

表示3.5.1　対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.93	3.21	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04

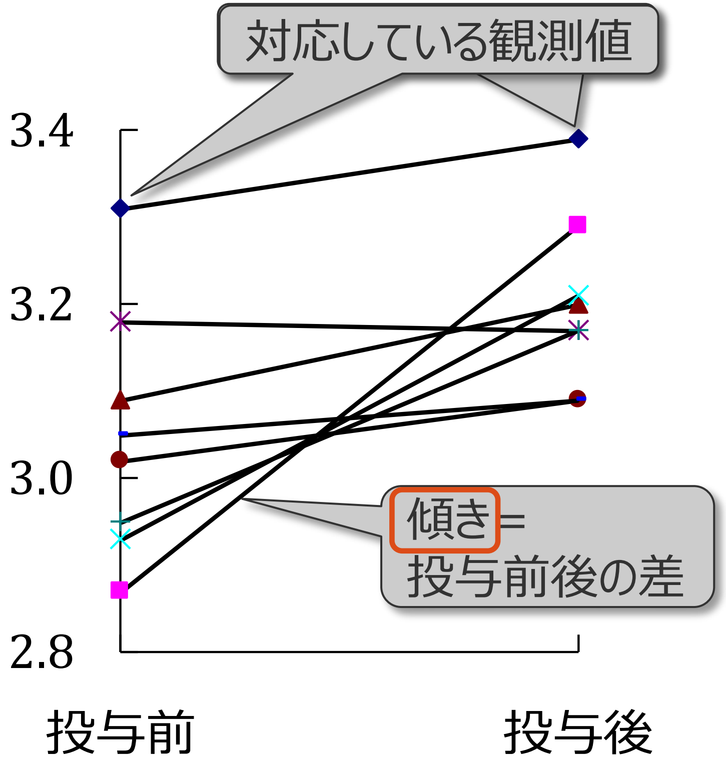
差が負

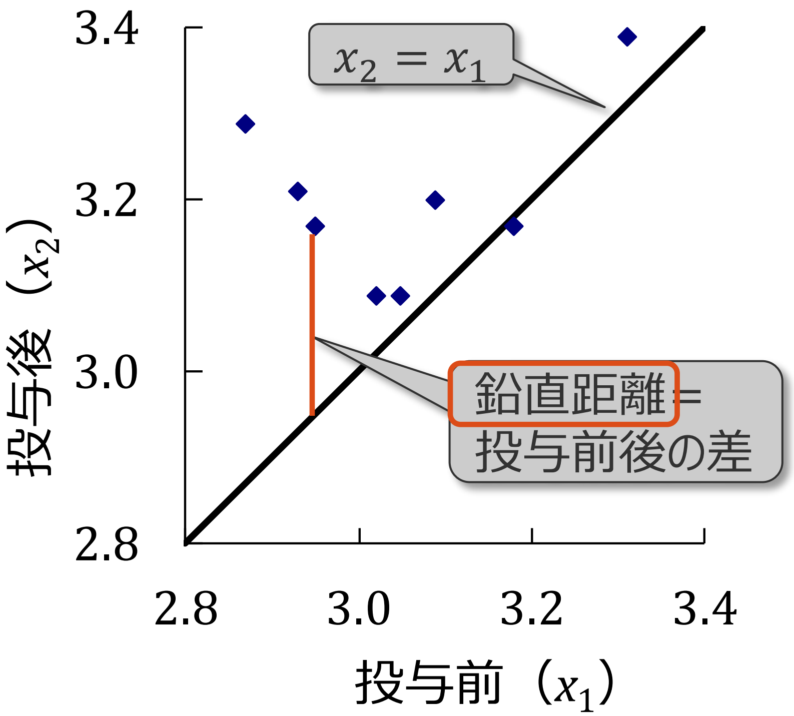
対応のある t 検定

p.152

●データの概要

投与前と投与後の差　＝　傾き　＝　鉛直距離・・・・・２群の差が 0 からどれだけ
投与前と投与後の差が 0　＝　傾きが 0　＝　長さが 0　　離れているか解析





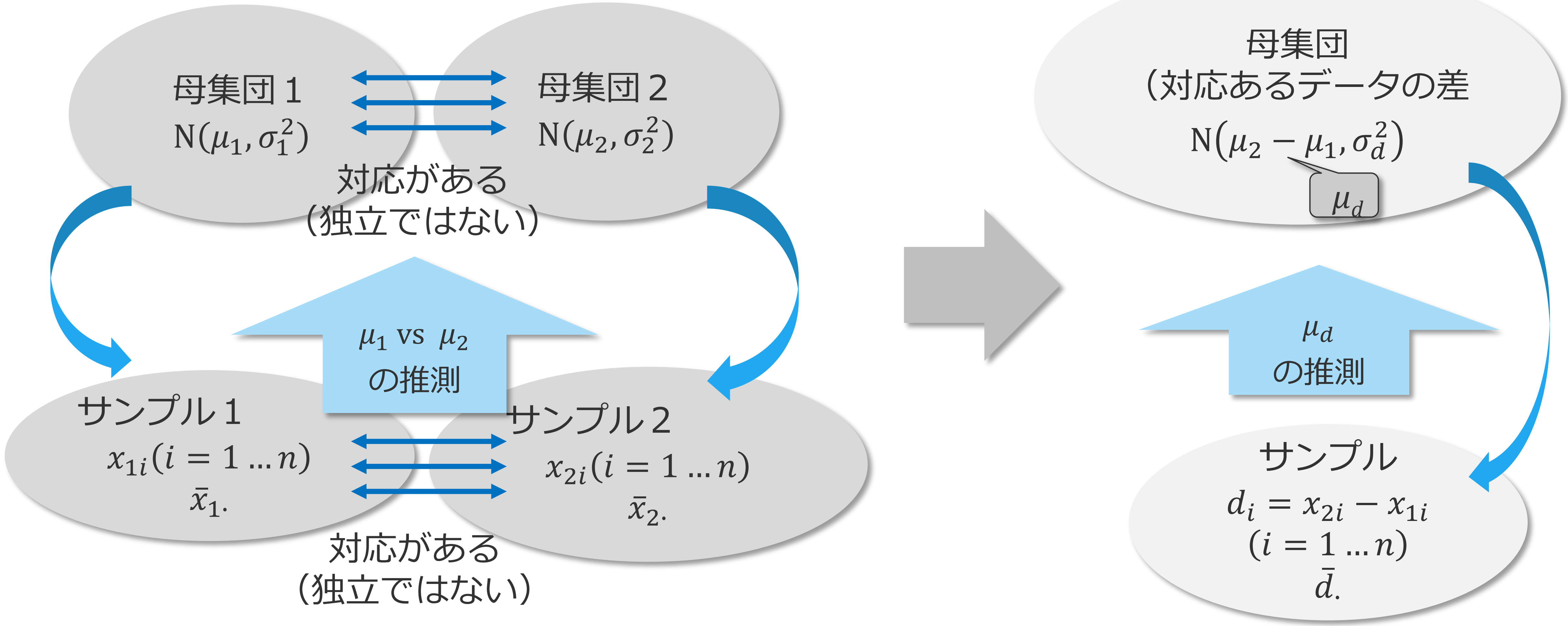
表示3.5.1　対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.93	3.21	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04

対応のある t 検定

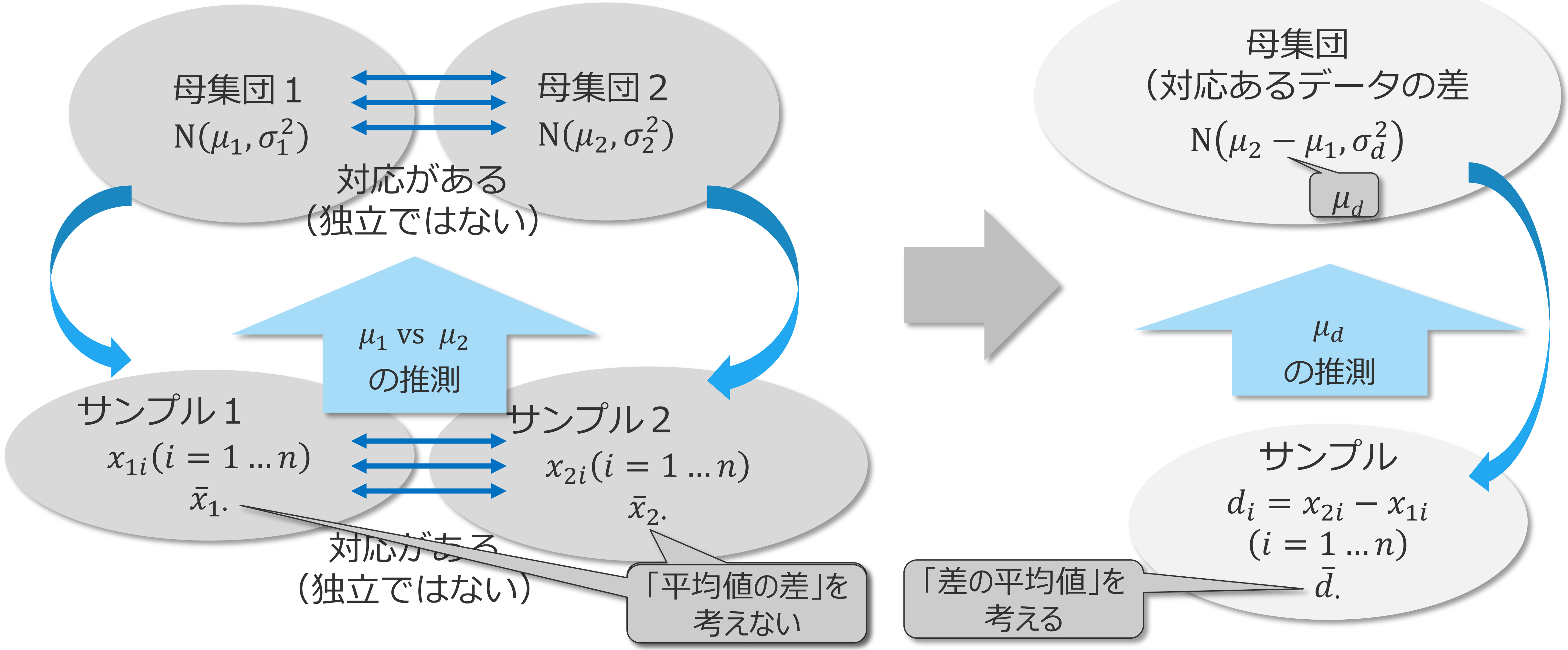
p.152

●対応のある２群の母平均の差の推測



対応のある t 検定

●対応のある２群の母平均の差の推測



対応のある t 検定

●対応のある２群の母平均の差の推測

１組のデータの平均に関する推測（σ 未知）として考える（§ 2.6 ）

サンプルの分布

μ_d

d_i は互いに独立に $\mathrm{N}\left(\mu_2-\mu_1,\sigma_d^2\right)$ に従う

n 個の平均値 $\bar{d}.$ は互いに独立に $\mathrm{N}\left(\mu_2-\mu_1,\sigma_d^2/n\right)$ に従う

母平均の仮説検定

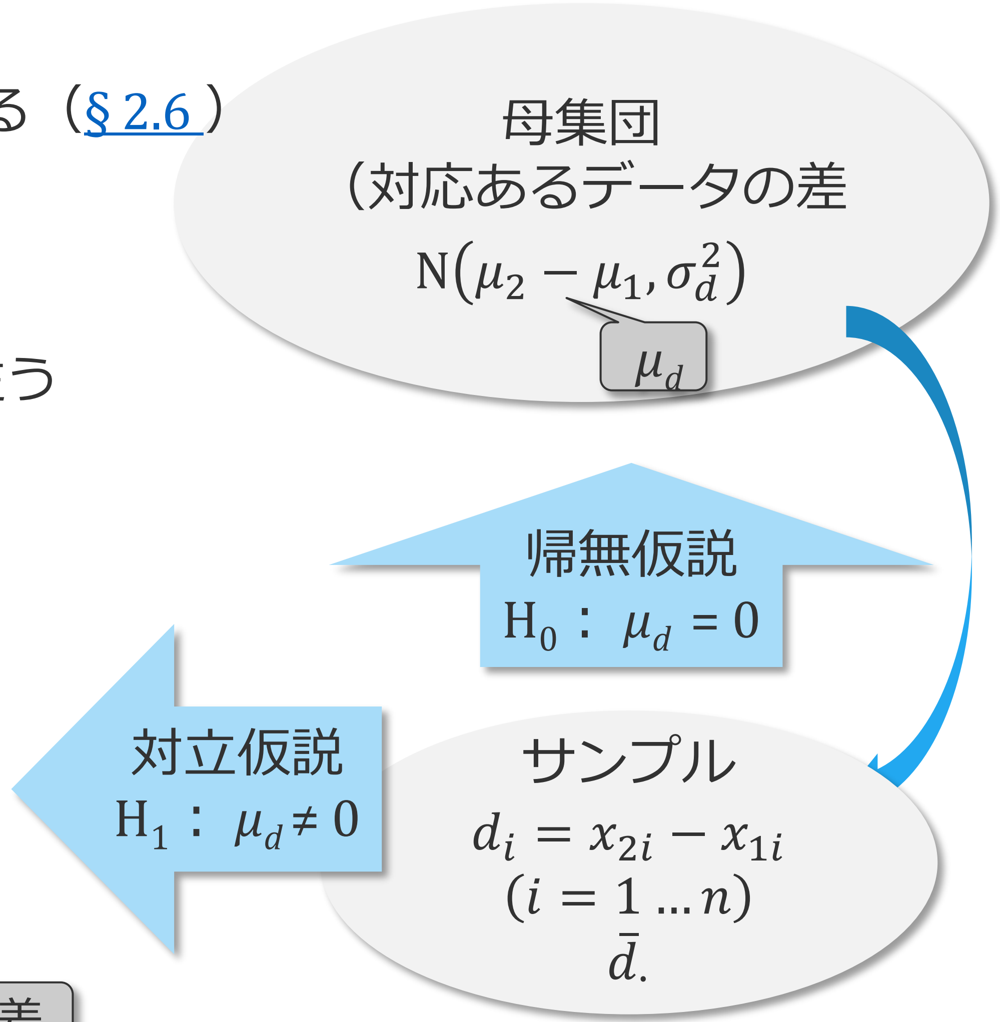
帰無仮説　H_0 : $\mu_d=0$ $\rightarrow$ $\mu_2-\mu_1=0,\quad \mu_2=\mu_1$

対立仮説　H_0 : $\mu_d\neq 0$ $\rightarrow$ $\mu_2-\mu_1\neq 0,\quad \mu_2\neq\mu_1$

帰無仮説の下、t 値は自由度 $n-1$ の t 分布に従う

$$t=\frac{\bar{d}.-\mu_d}{s.e.[d]}=\frac{\bar{d}.-0}{\sigma_d/\sqrt{n}}\sim\frac{\bar{d}.}{s_d/\sqrt{n}}\qquad(2.6.1)$$

サンプルの標準偏差



対応のある t 検定

p.152

$d_i = x_{2i} - x_{1i} \quad (i = 1 \ldots n)$

$\bar{d}\cdot = \sum d_i/n$

●対応のある 2 群の母平均の差の仮説検定

$\mathrm{N}(\mu_d, \sigma_d^2)$ に従う母集団から抽出した n 個の平均値 $\bar{d}.$ は $\mathrm{N}(\mu_d, \sigma_d^2/n)$ に従う（§ 2.6）

帰無仮説 H_0：$\mu_d = 0$、対立仮説 H_1： $\mu_d \neq 0$ （α=0.05、両側検定）

$\mu_d = \mu_2 - \mu_1$

帰無仮説の下で、t 値は自由度 $n-1$ の t 分布に従う

$$t = \frac{\bar{d}\cdot - \mu_d}{s.e.[d]} = \frac{\bar{d}\cdot - 0}{\sqrt{V_d/n}} \sim \frac{\bar{d}\cdot}{s_d/\sqrt{n}} \qquad (2.6.1) \qquad s_d = \sqrt{V_d} = \sqrt{\frac{\sum\left(d_i - \bar{d}\cdot\right)^2}{n-1}}$$

棄却限界値 $t(0.05, \nu)$ =T.INV.2T(0.05, $n-1$) p 値 =T.DIST.2T (ABS(t), $n-1$)

●母平均の95%信頼区間

$$-t(\nu, 0.05) \le t = \frac{\bar{d}\cdot}{s.e.[d]} \le t(\nu, 0.05)$$

$$\bar{d}\cdot - t(\nu, 0.05) \times s.e.[d] \le \mu_d \le \bar{d}\cdot + t(\nu, 0.05) \times s.e.[d]$$

$$\mu_d \sim \bar{d}\cdot \pm t(\nu, \alpha) \times s.e.[d] = \bar{d}\cdot \pm t(\nu, 0.05) \times s_d/\sqrt{n} \qquad (2.6.2)$$

対応のある t 検定

p.152

●対応のある 2 群の母平均の差の仮説検定

$$V_d = \frac{\sum(d_i - \bar{d}.)^2}{n-1} = \frac{S_d}{n-1} = \frac{0.145}{8-1} = 0.021$$

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s.e.[d]} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{1}{n}V_d}} = \frac{0.151}{\sqrt{\frac{1}{8} \times 0.021}} = \frac{0.151}{0.051} = 2.969$$

棄却限界値　=T.INV.2T(0.05, 8-1) = 2.365

$$|t| = 2.969 > 2.365$$

p 値　=T.DIST.2T (ABS(2.969), 8-1)=0.021

$$p = 0.021 < \alpha = 0.05$$

帰無仮説 H_0：$\mu_d = 0$ は棄却され、

対立仮説 H_1：$\mu_d \neq 0$ が採択される

$\mu_d = \mu_2 - \mu_1 \neq 0 \ \longrightarrow \ \mu_2 \neq \mu_1$　2 群間に有意差あり

表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.015	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		**2.446**	**2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

対応のある t 検定

$\bar{d}.$

S_d

$n-1$

V_d

$s.e.[d]$

t 値

対応のある t 検定

p.152

● 対応のある 2 群の母平均の差の仮説検定

$$V_d = \frac{\sum(d_i - \bar{d}\cdot)^2}{n-1} = \frac{S_d}{n-1} = \frac{0.145}{8-1} = 0.021$$

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s.e.[d]} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{1}{n}V_d}} = \frac{0.151}{\sqrt{\frac{1}{8} \times 0.021}} = \frac{0.151}{0.051} = 2.969$$

棄却限界値　=T.INV.2T(0.05, 8-1) = 2.365

$$|t| = 2.969 > 2.365$$

p 値　=T.DIST.2T (ABS(2.969), 8-1)=0.021

$$p = 0.021 < \alpha = 0.05$$

● 母平均の95%信頼区間

$$\mu_d \sim \bar{d} \pm t(\nu, 0.05) \times s.e.[d]$$

$$= 0.151 \pm 2.365 \times 0.051 = [0.03, 0.27]$$

信頼区間に帰無仮説の $\mu_d = 0$ が含まれない

一致

対応のある t 検定

表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.015	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		**2.446**	**2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

$\bar{d}.$

S_d

$n-1$

V_d

$s.e.[d]$

t 値

95% CI

対応のある t 検定と t 検定

p.153

● 対応のある t 検定（差の平均値）

$$V_d=\frac{\sum(d_i-\bar{d}\cdot)^2}{n-1}=\frac{S_d}{n-1}=\frac{0.145}{8-1}=\frac{0.145}{7}=0.021$$

$$t=\frac{\bar{d}-\mu_d}{s.e.[d]}=\frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{1}{n}V_d}}=\frac{0.151}{\sqrt{\frac{1}{8}\times 0.021}}=\frac{0.151}{0.051}=2.969$$

● t 検定（平均値の差）

$$V=\frac{S_1+S_2}{n_1+n_2-2}=\frac{0.144+0.070}{8+8-2}=\frac{0.214}{14}=0.015$$

$$t=\frac{\bar{x}_2\cdot-\bar{x}_1\cdot}{s.e.}=\frac{\bar{x}_2\cdot-\bar{x}_1\cdot}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)V}}=\frac{0.151}{\sqrt{\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{8}\right)\times 0.015}}$$

$$=\frac{0.151}{0.062}=2.446$$

(§ 2.6)

対応を無視して行った通常の t 検定

対応のある t 検定

表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.015	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		**2.446**	< **2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

S_d

$n-1$

V_d

$s.e.[d]$

t 値

対応のある t 検定と t 検定

●対応のある t 検定（差の平均値）

$$V_d = \frac{\sum(d_i - \bar{d}\cdot)^2}{n-1} = \frac{S_d}{n-1} = \frac{0.145}{8-1} = \frac{0.145}{7} = 0.021$$

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s.e.[d]} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{1}{n}V_d}} = \frac{0.151}{\sqrt{\frac{1}{8} \times 0.021}} = \frac{0.151}{0.051} = 2.969$$

● t 検定（平均値の差）

$$V = \frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{0.144 + 0.070}{8+8-2} = \frac{0.214}{14} = 0.015$$

$$t = \frac{\bar{x}_2\cdot - \bar{x}_1\cdot}{s.e.} = \frac{\bar{x}_2\cdot - \bar{x}_1\cdot}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)V}} = \frac{0.151}{\sqrt{\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\right) \times 0.015}}$$

$$= \frac{0.151}{0.062} = 2.446$$

(§ 2.6)

対応を無視して行った通常の t 検定

対応のある t 検定

値は同じ
計算の経路が違う
$s.e.$ が異なる

表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
		0.015	0.021
誤差		0.062	0.051
意差検定			
t		**2.446**	**<2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

S_d

$n-1$

V_d

$s.e.[d]$

t 値

対応のある t 検定と t 検定

p.153

●対応のある t 検定（差の平均値）

$$V_d = \frac{\sum(d_i - \bar{d}\cdot)^2}{n-1} = \frac{S_d}{n-1} = \frac{0.145}{8-1} = \frac{0.145}{7} = 0.021$$

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s.e.[d]} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{1}{n}V_d}} = \frac{0.151}{\sqrt{\frac{1}{8} \times 0.021}} = \frac{0.151}{0.051} = 2.969$$

d_i の分散由来

● t 検定（平均値の差）

$$V = \frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{0.144 + 0.070}{8 + 8 - 2} = \frac{0.214}{14} = 0.015$$

$$t = \frac{\bar{x}_2\cdot - \bar{x}_1\cdot}{s.e.} = \frac{\bar{x}_2\cdot - \bar{x}_1\cdot}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)V}} = \frac{0.151}{\sqrt{\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\right) \times 0.015}}$$

$$= \frac{0.151}{0.062} = 2.446$$

$\frac{0.015}{8} + \frac{0.015}{8}$ $x_{2i} - x_{2i}$ の分散由来

対応を無視して行った通常の t 検定

対応のある t 検定

表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	> 7
平均平方		0.015	< 0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	> 0.051
平均値の差の有意差検定			
t		**2.446**	< **2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

V

$s.e.$

逆転

対応のある…

p.153

一般に、
t 値　　：対応のある t 検定 ＞ t検定
自由度：対応のある t 検定 ＜ t 検定
（自由度が小 → 裾が広がり、p 値は大）
t 値が大でも、p 値が小さくなるとは限らない

● 対応のある … 示3.5.1

$$V_d = \frac{\sum(d_i - \bar{d})^2}{n-1} = \frac{S_d}{n-1} = \frac{0.145}{8-1} = \frac{0.145}{7} = 0.021$$

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s.e.[d]} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{1}{n}V_d}} = \frac{0.151}{\sqrt{\frac{1}{8}} \times 0.021} = \frac{0.151}{0.051} = 2.969$$

● t 検定（平均値の差）

$$V = \frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{0.144 + 0.070}{8 + 8 - 2} = \frac{0.214}{14} = 0.015$$

$$t = \frac{\bar{x}_2 \cdot - \bar{x}_1 \cdot}{s.e.} = \frac{\bar{x}_2 \cdot - \bar{x}_1 \cdot}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)V}} = \frac{0.151}{\sqrt{\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\right) \times 0.015}}$$

$$= \frac{0.151}{0.062} = 2.446$$

対応を無視して行った通常の t 検定

対応のある t 検定

表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	＋ 7	＞ 7
平均平方		0.015	＜ 0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	＞ 0.051
平均値の差の有意差検定			
t		**2.446**	＜ **2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

$n-1$

$s.e.$

t 値

対応のある t 検定と t 検定

p.153

● 差の平均値の 95% 信頼区間

$$\mu_d \sim \bar{d} \pm t(v, 0.05) \times s.e.[d]$$

$$= 0.151 \pm t(7, 0.05) \times \sqrt{\frac{1}{8} \times 0.021}$$

$$= 0.151 \pm 2.365 \times 0.051 = [0.03, 0.27]$$

● 平均値の差の 95% 信頼区間

$$\bar{\mu}_{2\cdot} - \bar{\mu}_{1\cdot} \sim d \pm t(v, 0.05) \times s.e.[d]$$

$$= 0.151 \pm t(14, 0.05) \times \sqrt{\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\right) \times 0.015}$$

$$= 0.151 \pm 2.145 \times 0.062 = [0.02, 0.28]$$

この事例では 95% CI に大きな違いはない

表示3.5.1

表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7 +	7 >	7
平均平方		0.015 <	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062 >	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		**2.446**	**2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

$n-1$

$s.e.$

95% CI

p.153

（2） JMPによる解析

対応のある t 検定

JMP［対応のあるペア］

p.153

●データ

JMP ファイル「3-2群2.jmp」を読み込み

表示 3.5.1のデータ

［対応のあるペア］を実行する場合、データを縦に並べない（対応を残したままの形）

通常の *t* 検定の場合

	個体番号	測定時期	観測値
1	1	投与前	3.31
2	1	投与後	3.39
3	2	投与前	2.87
4	2	投与後	3.29
5	3	投与前	3.09
6		投与後	3.2
		与前	2.93
		与後	3.21
9	5	投与前	3.18

データを縦に並べる

表示3.5.1　対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.93	3.21	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04

［対応のあるペア］の場合

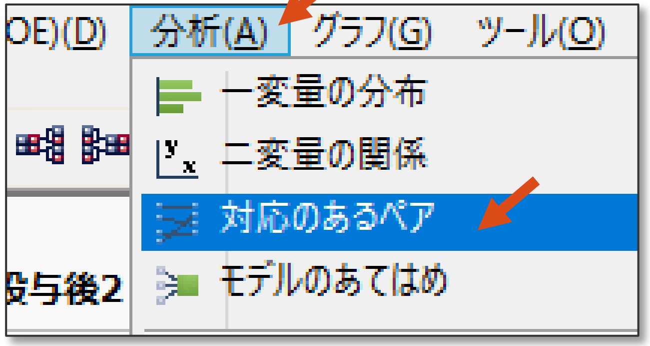
	個体番号	投与前	投与後	投与後2	投与後3
1	1	3.31	3.39	3.39	3.39
2	2	2.87	3.29	3.29	3.29
3	3	3.09	3.2	3.2	3.2
4	4	2.93	3.21	3.21	3.21
5	5	3.18	3.17	3.17	3.17
6	6	3.02	3.09	3.09	3.09
7	7	2.95	3.17	3.17	3.17
8	8	3.05	3.09	3.06	3.05

データを縦に並べない

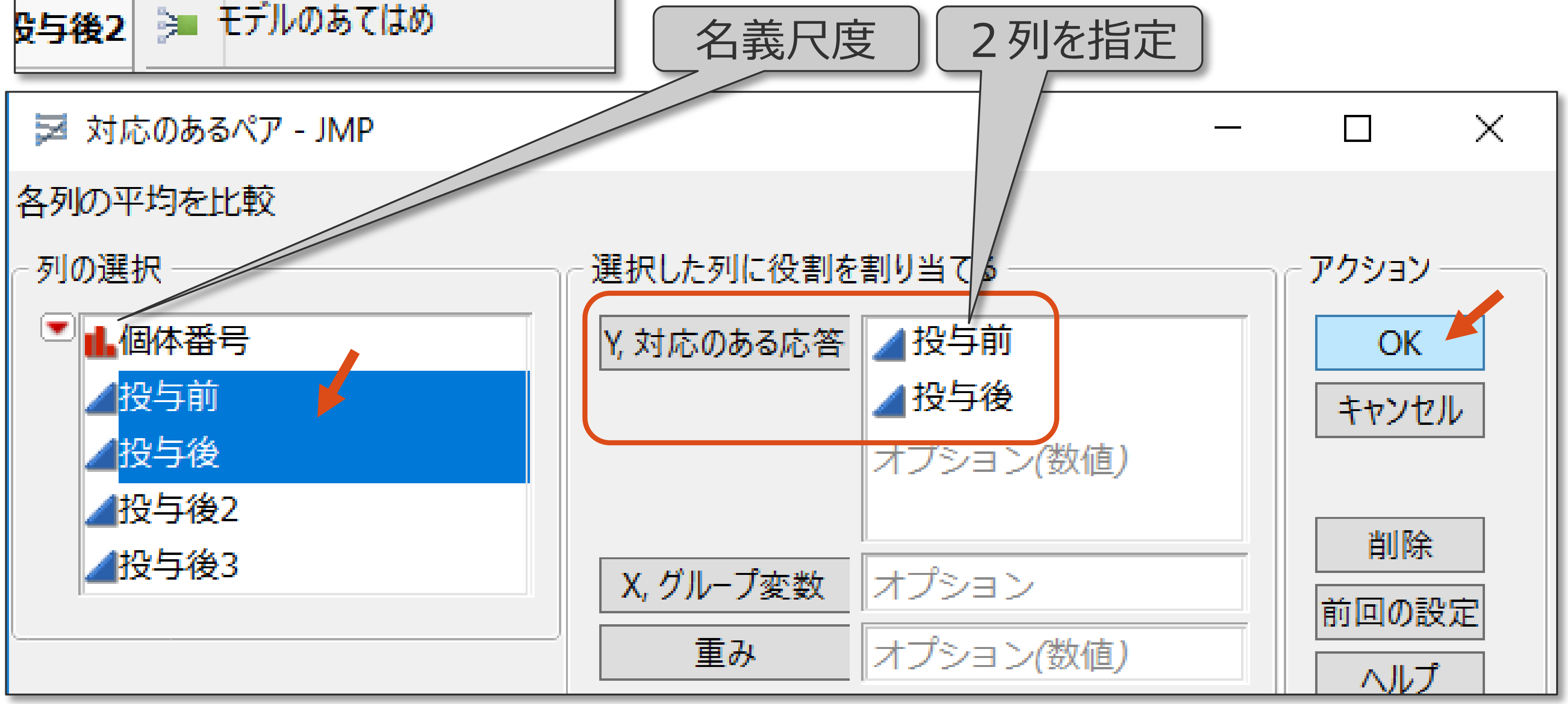
JMP［対応のあるペア］

p.153

●対応ある t 検定



［分析］＞［対応のあるペア］



	個体番号	投与前	投与後	投与後2	投与後3
1	1	3.31	3.39	3.39	3.39
2	2	2.87	3.29	3.29	3.29
3	3	3.09	3.2	3.2	3.2
4	4	2.93	3.21	3.21	3.21
5	5	3.18	3.17	3.17	3.17
6	6	3.02	3.09	3.09	3.09
7	7	2.95	3.17	3.17	3.17
8	8	3.05	3.09	3.06	3.05

JMP［対応のあるペア］

p.154

●対応のある t 検定

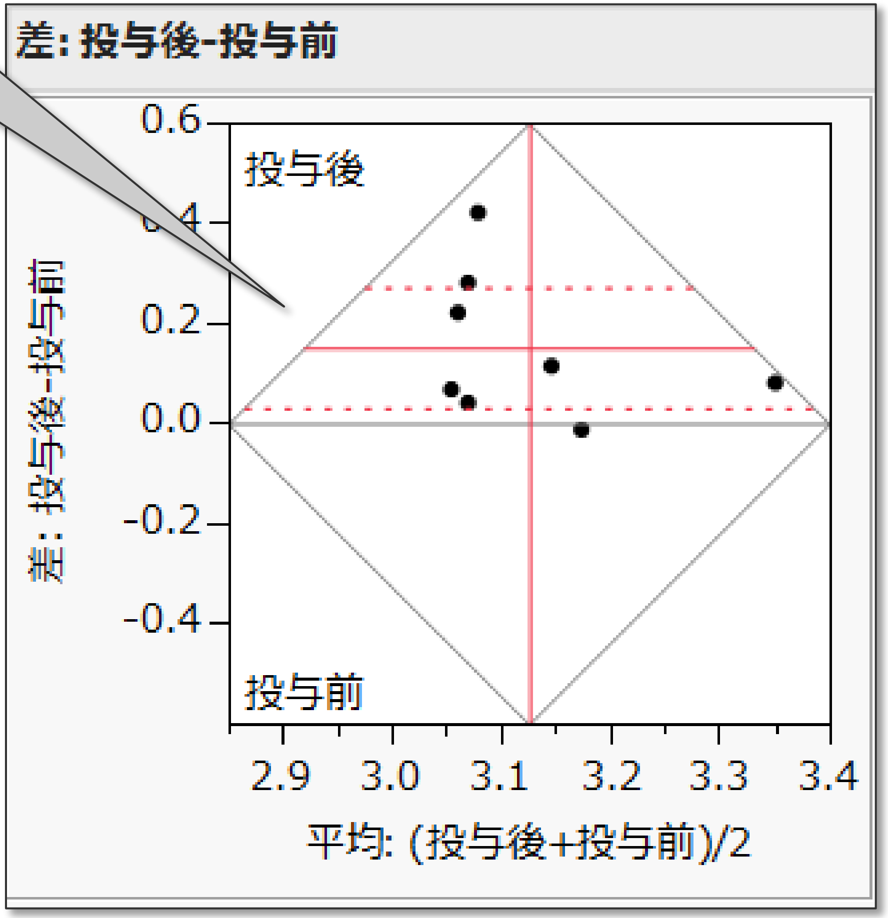
Bland-Altman Plot

表示3.5.2　JMPによる対応のあるデータの解析

対応のあるペア

差: 投与後-投与前

投与後	3.20125	t値	2.969445
投与前	3.05	自由度	7
差の平均	0.15125	p値(Prob>|t|)	0.0208*
標準誤差	0.05094	p値(Prob>t)	0.0104*
上側95%	0.27169	p値(Prob<t)	0.9896
下側95%	0.03081		
N	8		
相関	0.34217		



JMP［対応のあるペア］

●対応のある t 検定

表示3.5.2　JMPによる対応のあるデータの解析

対応のあるペア

差: 投与後-投与前

投与後	3.20125	t値	2.969445
投与前	3.05	自由度	7
差の平均	0.15125	p値(Prob>|t|)	0.0208*
標準誤差	0.05094	p値(Prob>t)	0.0104*
上側95%	0.27169	p値(Prob<t)	0.9896
下側95%	0.03081		
N	8		
相関	0.34217		

§4.2

表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.015	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		2.446	2.969
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		0.028	0.021
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		0.02	0.03
上側		0.28	0.27

S_d

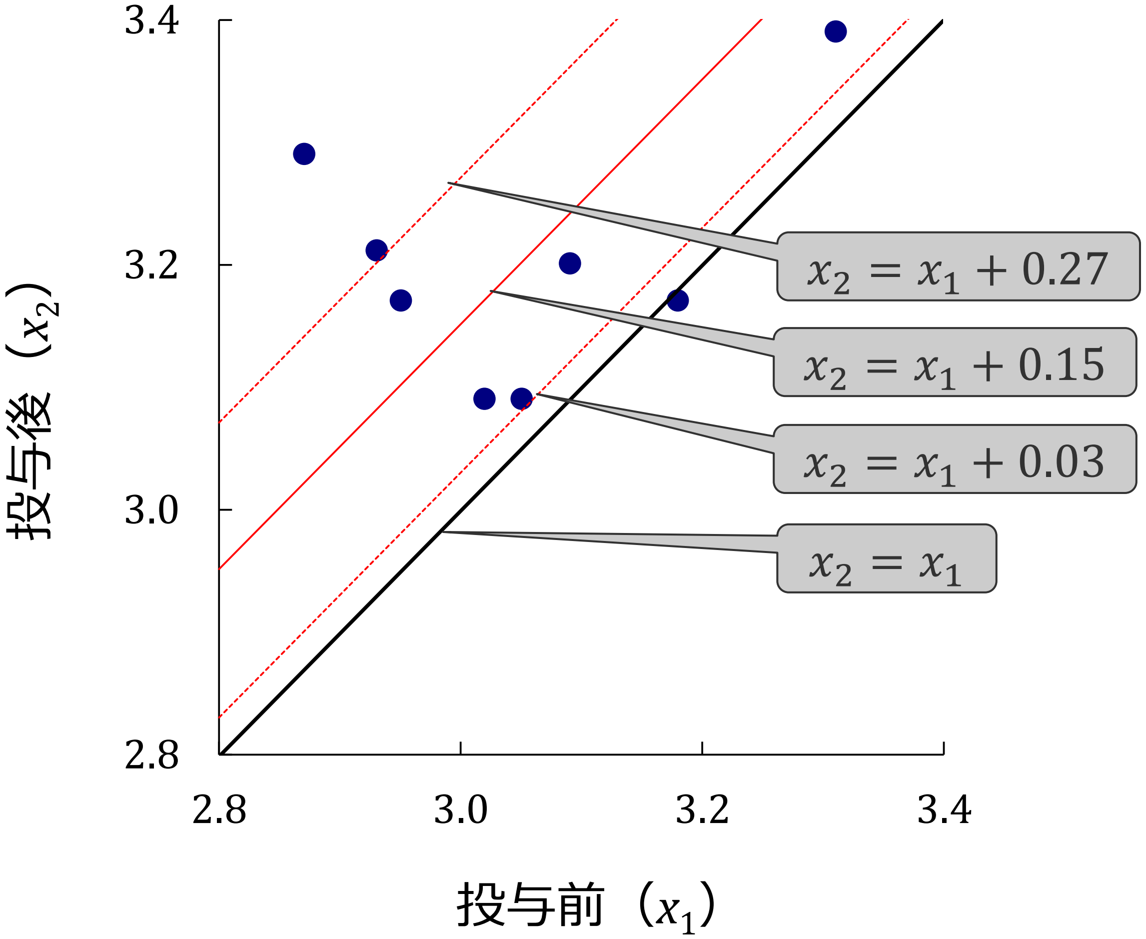
$n-1$

V_d

$s.e.[d]$

Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

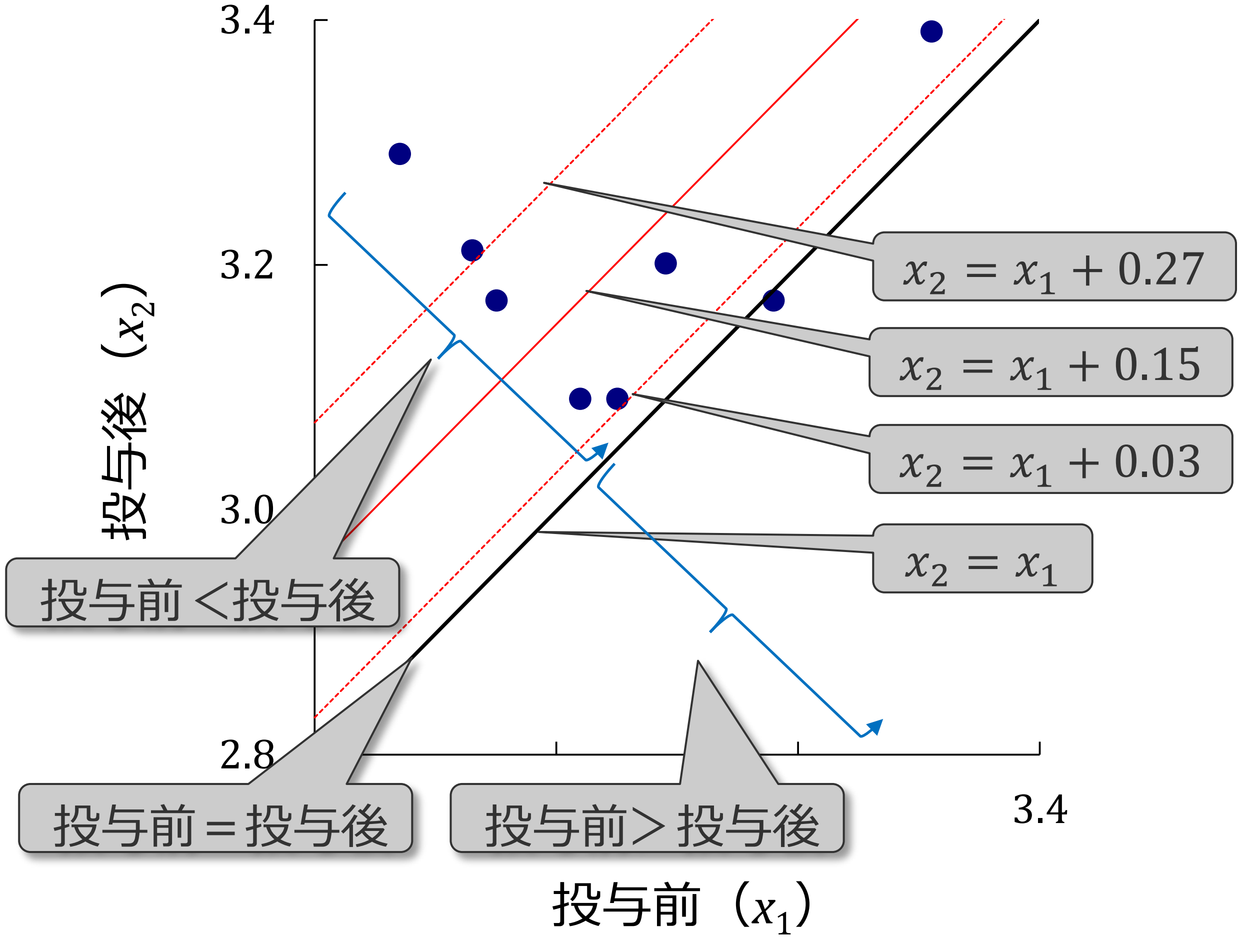


表示3.5.1 対応のあるデータ

個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.015	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		**2.446**	**2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

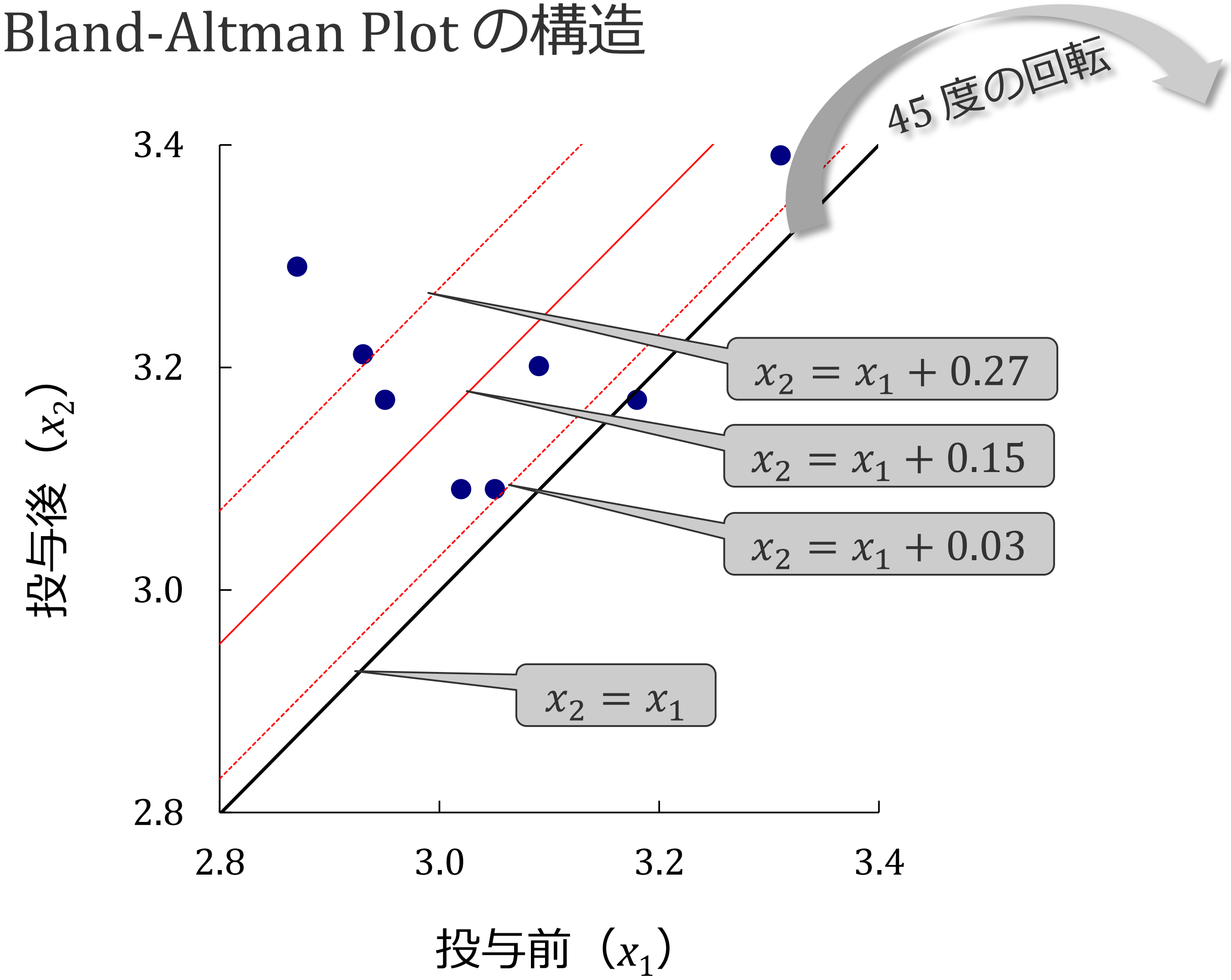


表示3.5.1 対応のあるデータ

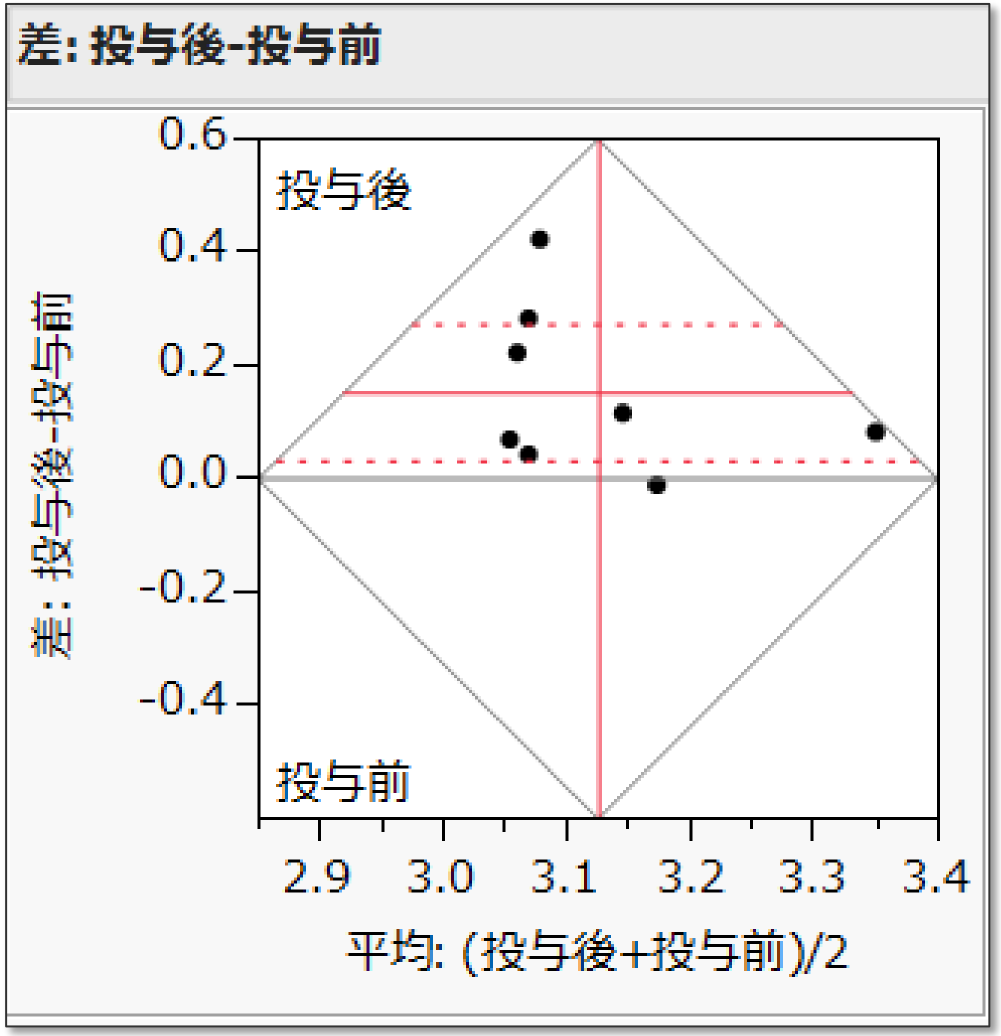
個体番号	投与前	投与後	差
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.015	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		**2.446**	**2.969**
p 値(片側)		0.014	0.010
p 値(両側)		**0.028**	**0.021**
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t (α)		2.145	2.365
下側		**0.02**	**0.03**
上側		**0.28**	**0.27**

Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

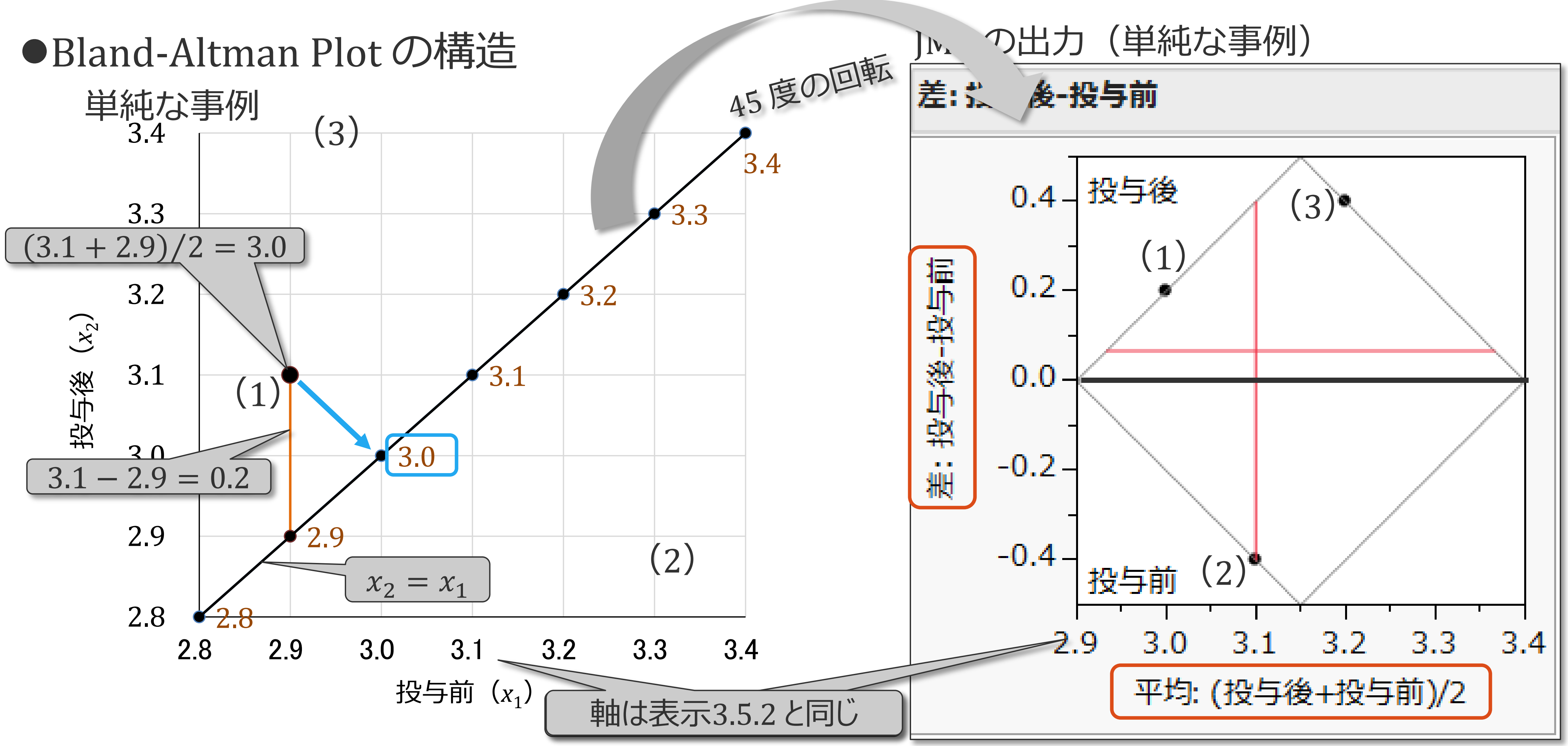


表示3.5.2　Bland-Altman Plot



Bland-Altman Plot

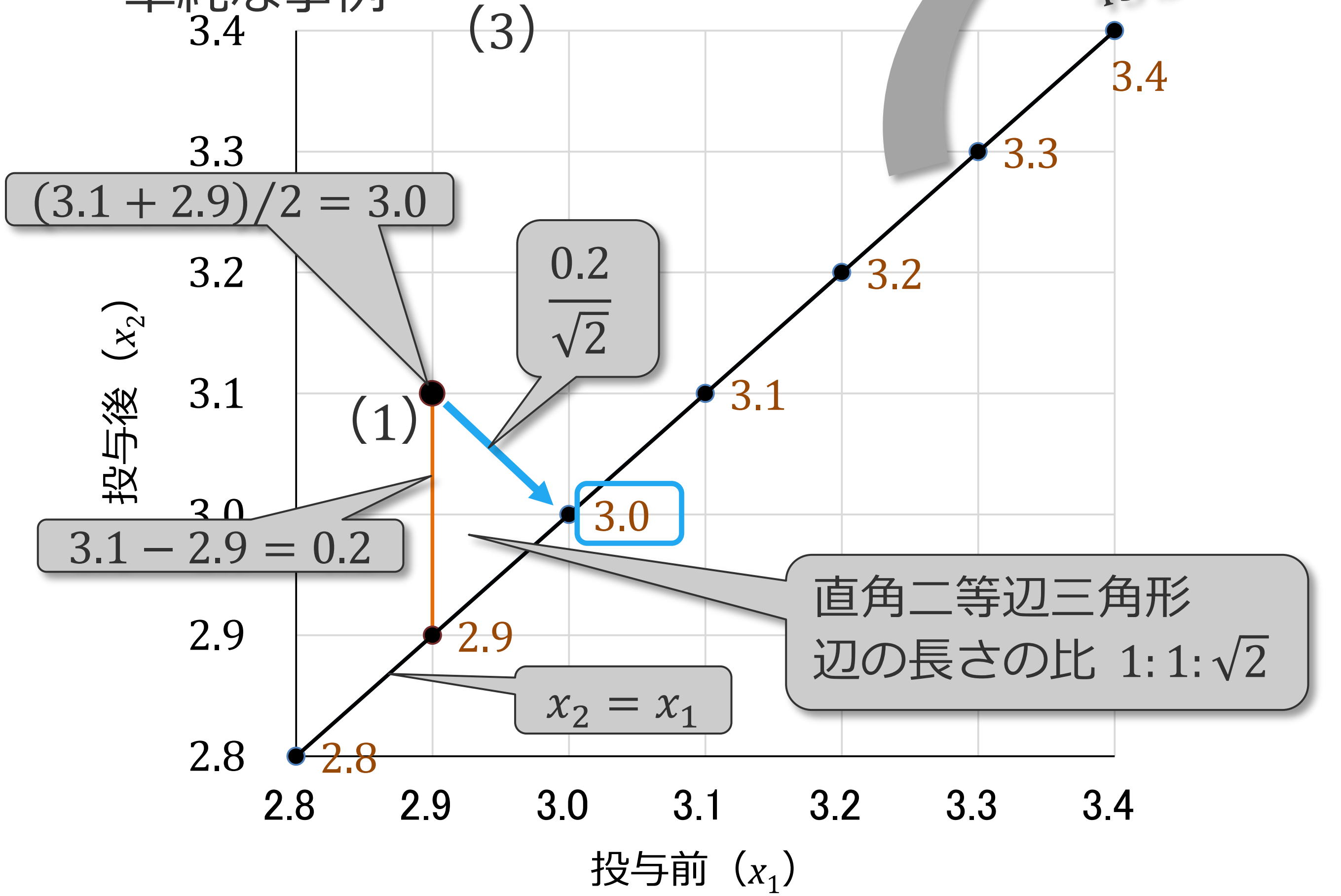
●Bland-Altman Plot の構造



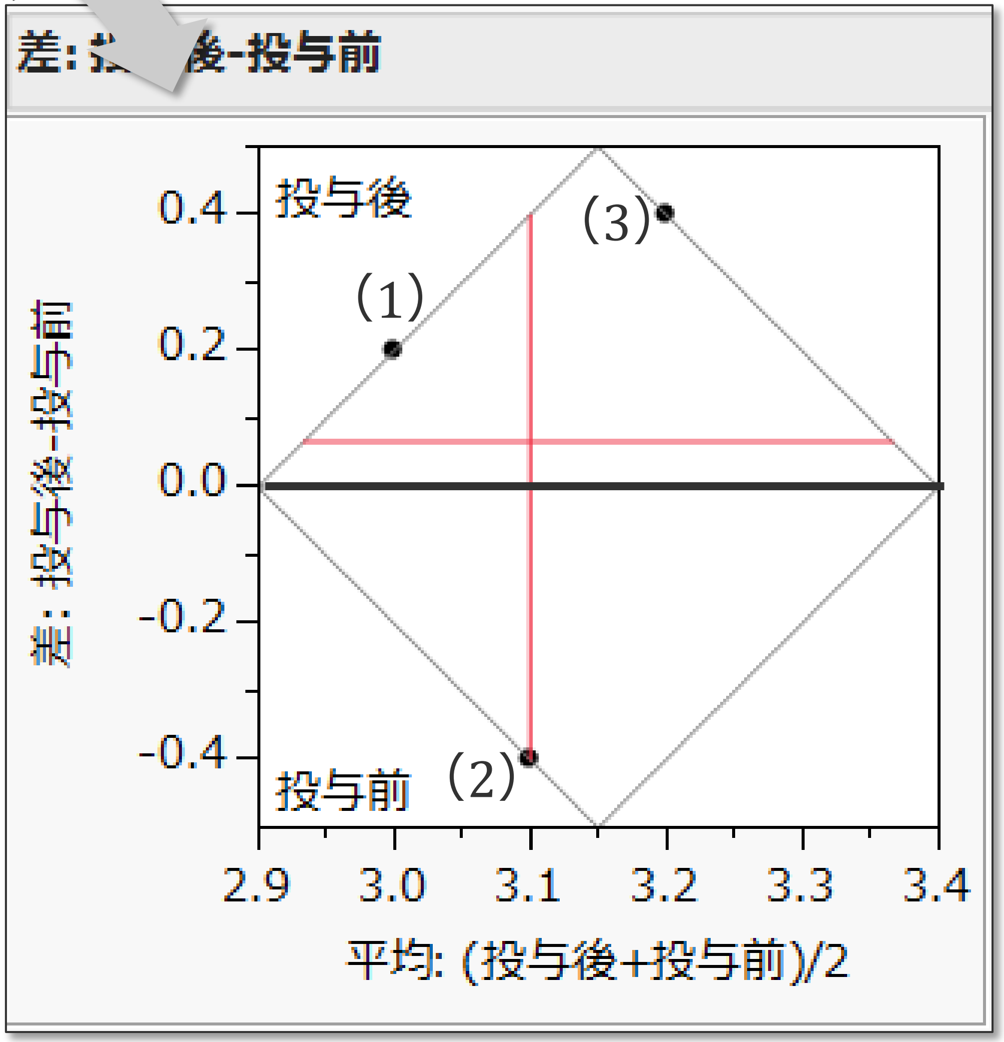
Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

単純な事例

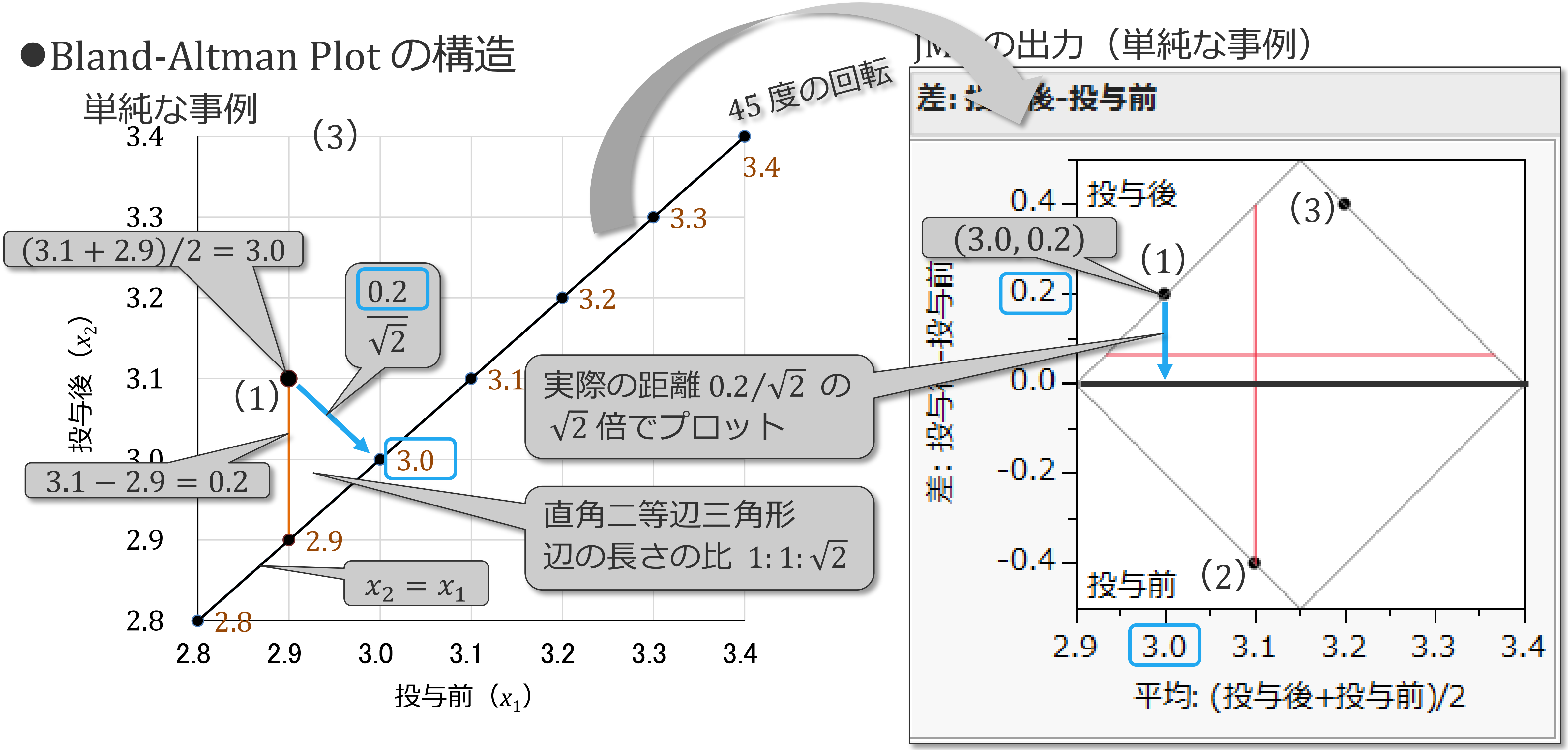


JMPの出力（単純な事例）



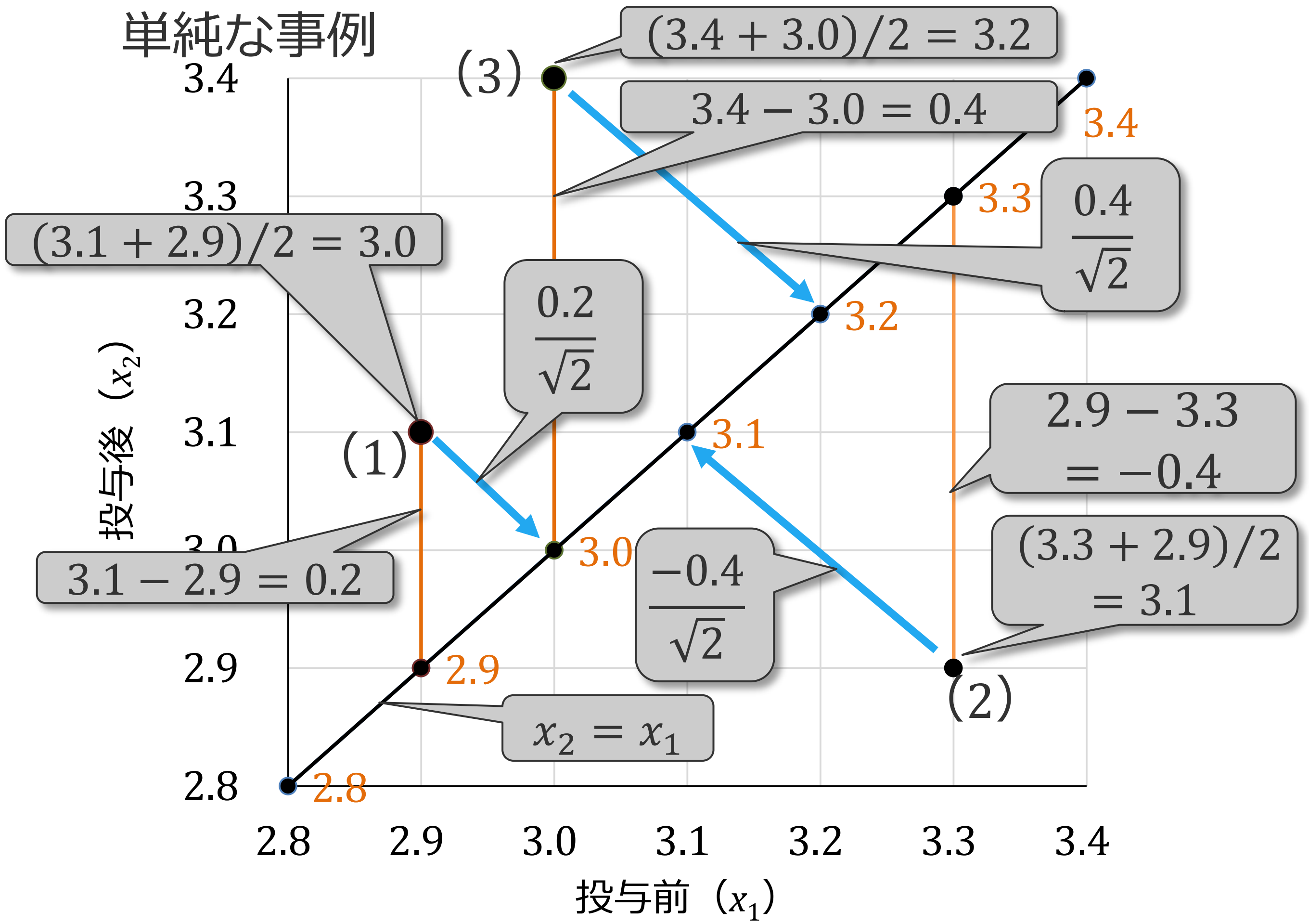
Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

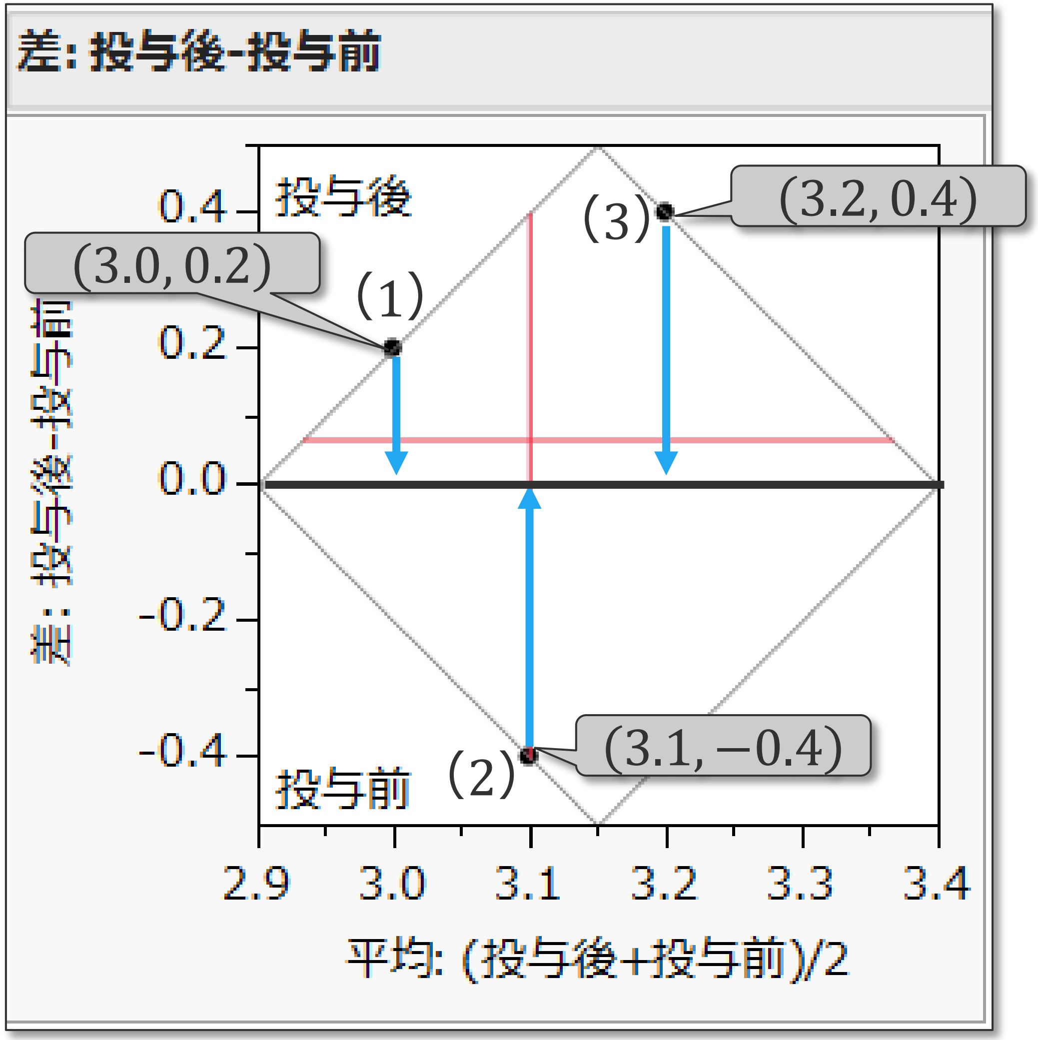


Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

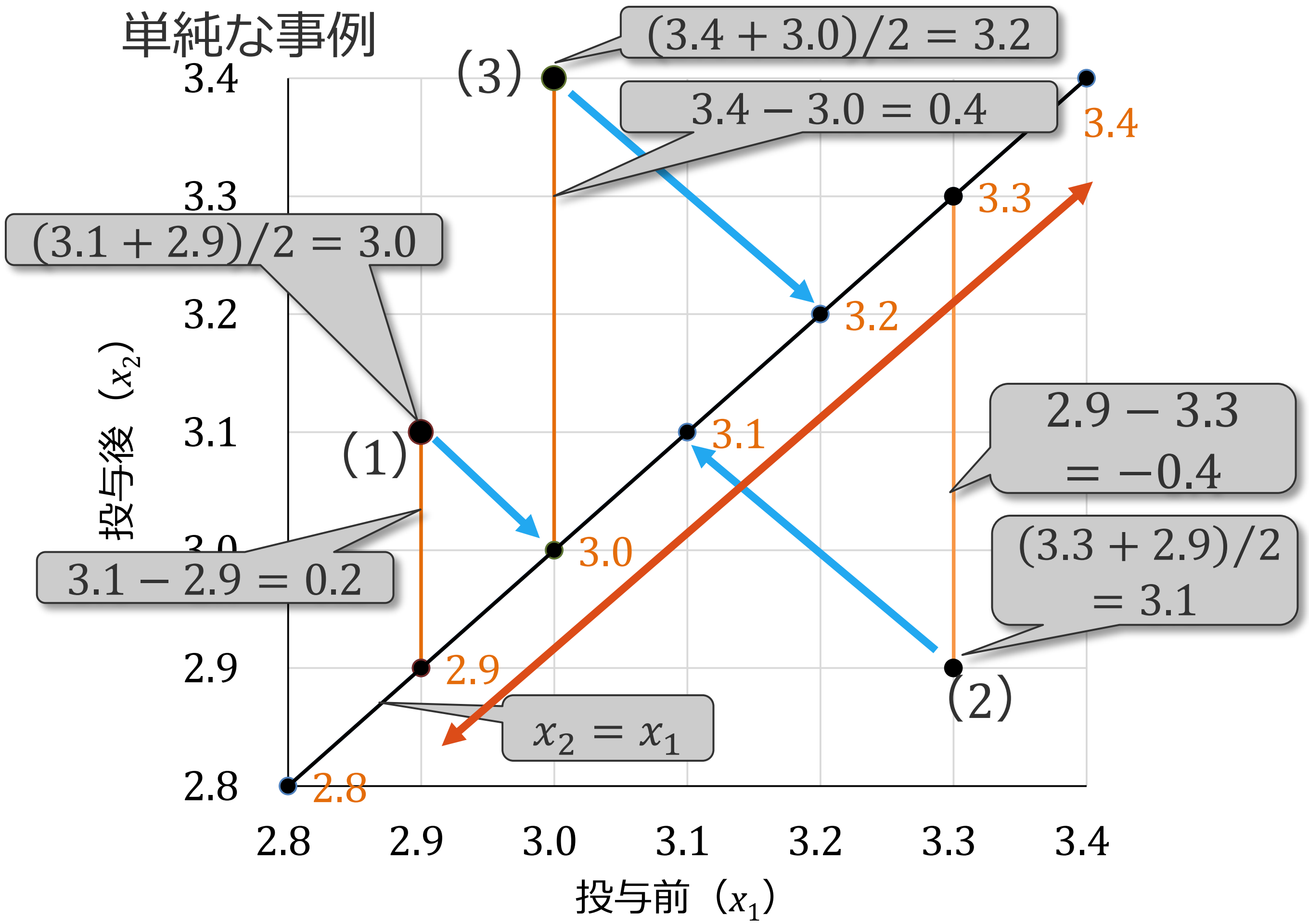


JMP の出力（単純な事例）

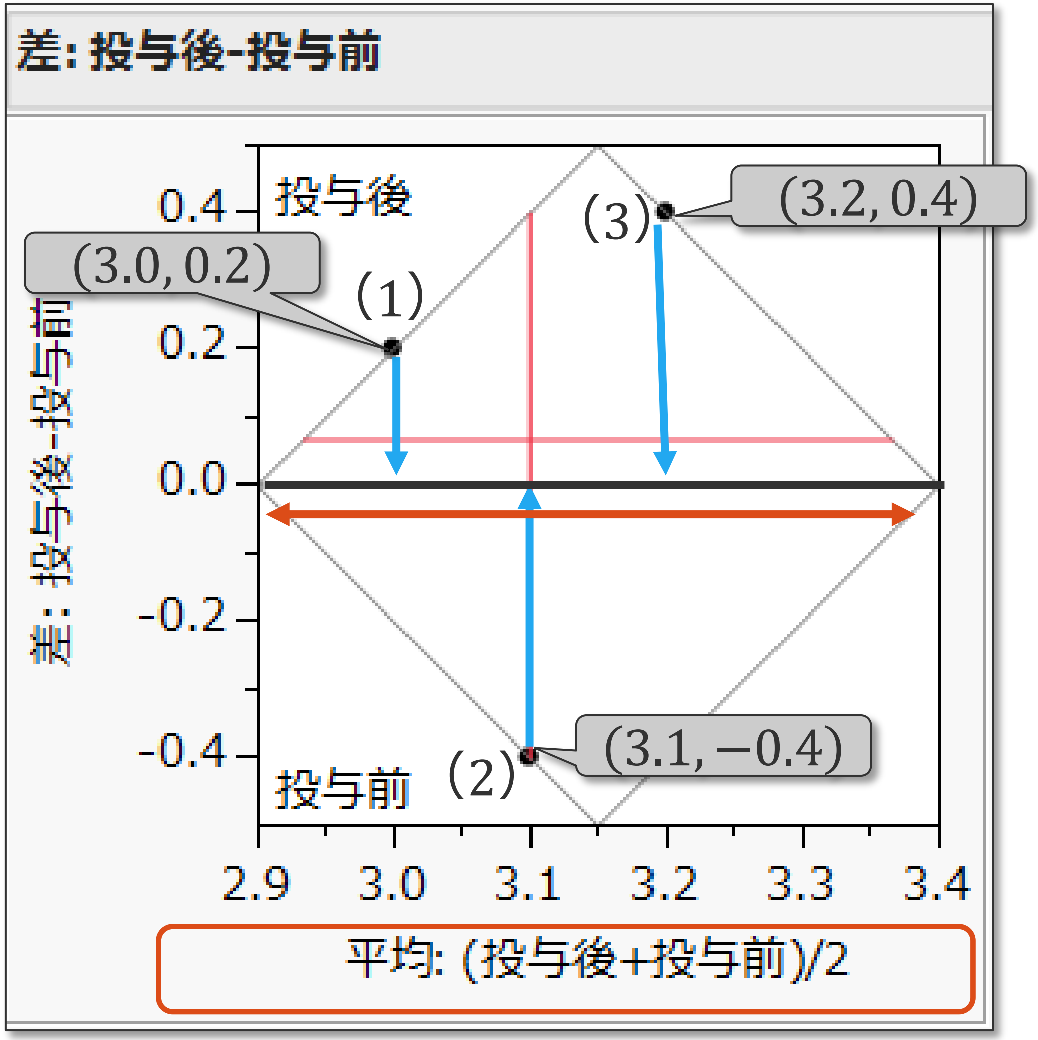


Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造



JMP の出力（単純な事例）

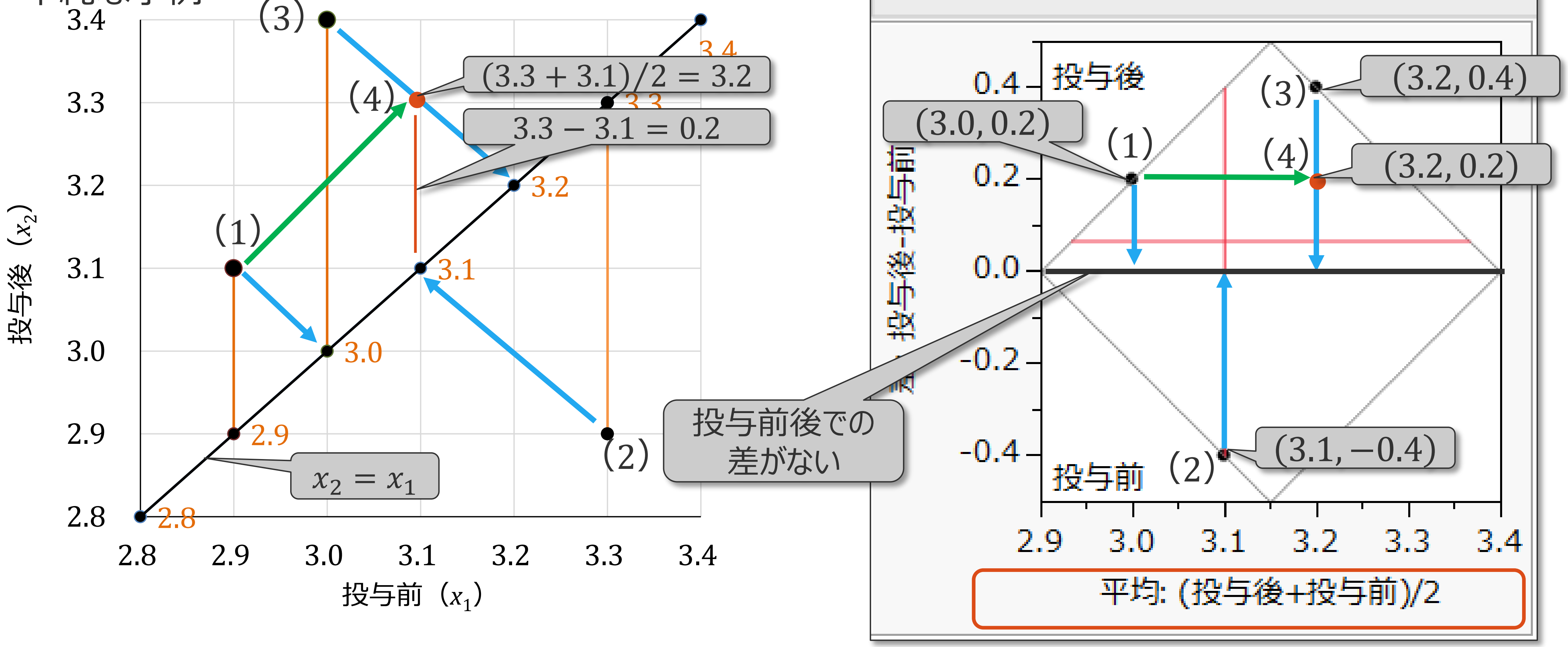


Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

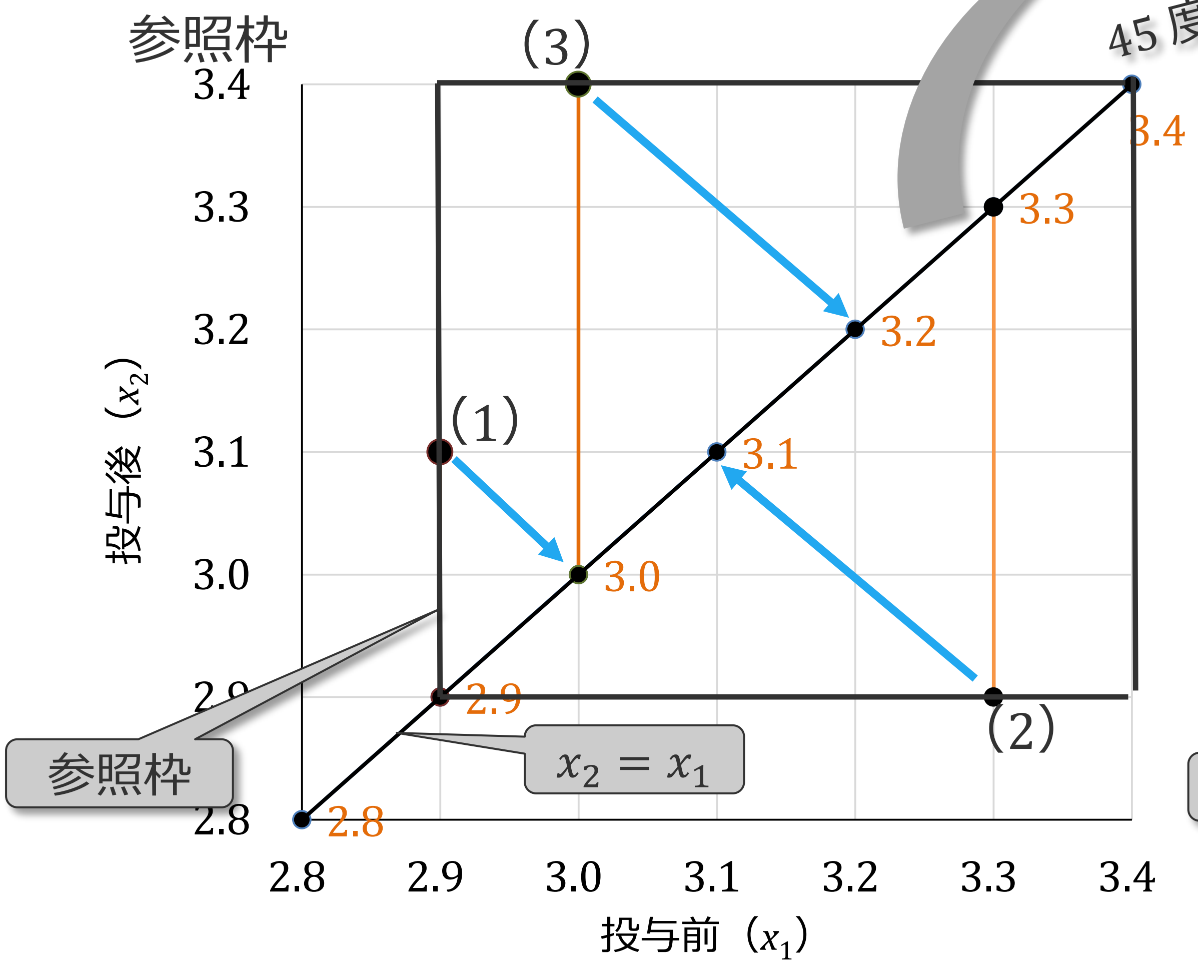
単純な事例

JMP の出力（単純な事例）

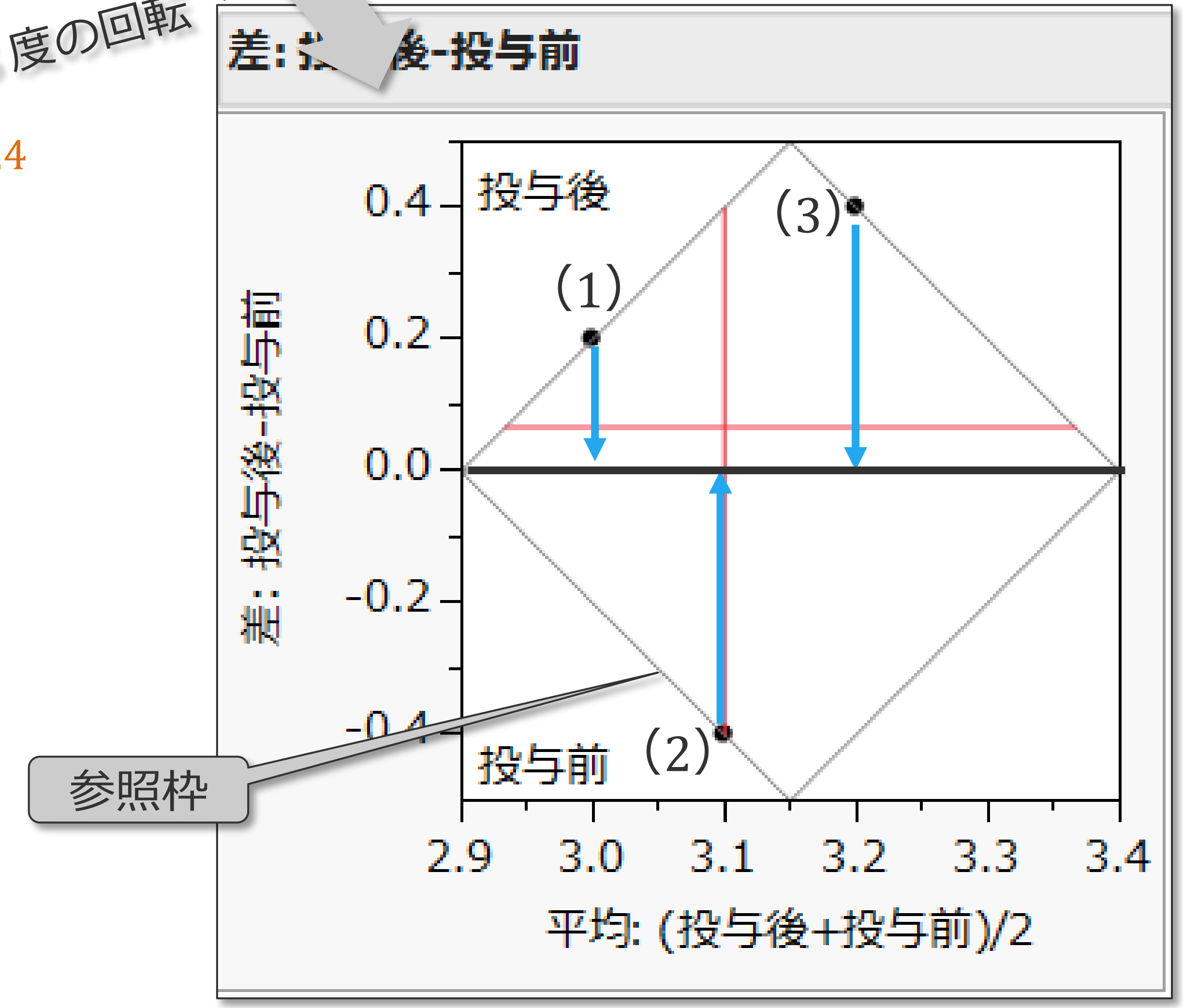


Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造



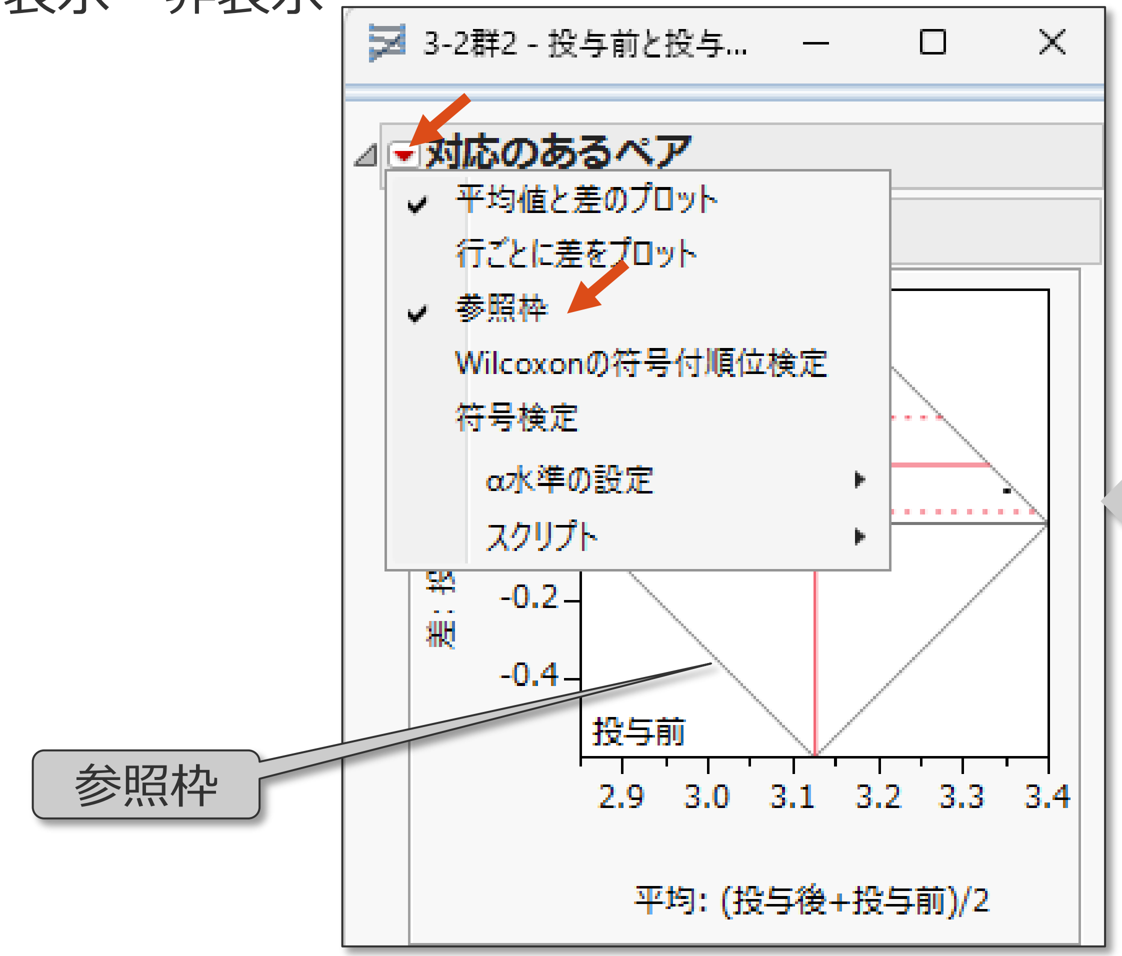
JMPの出力（単純な事例）

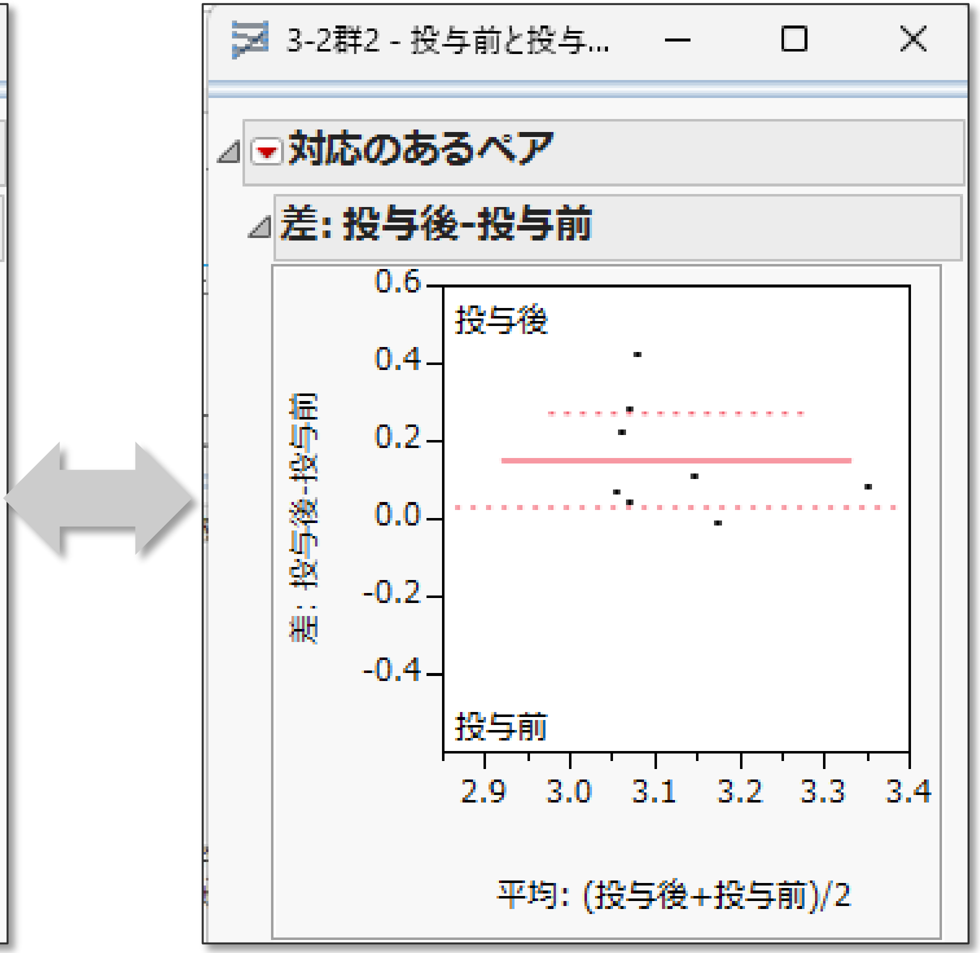


Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

参照枠の表示・非表示



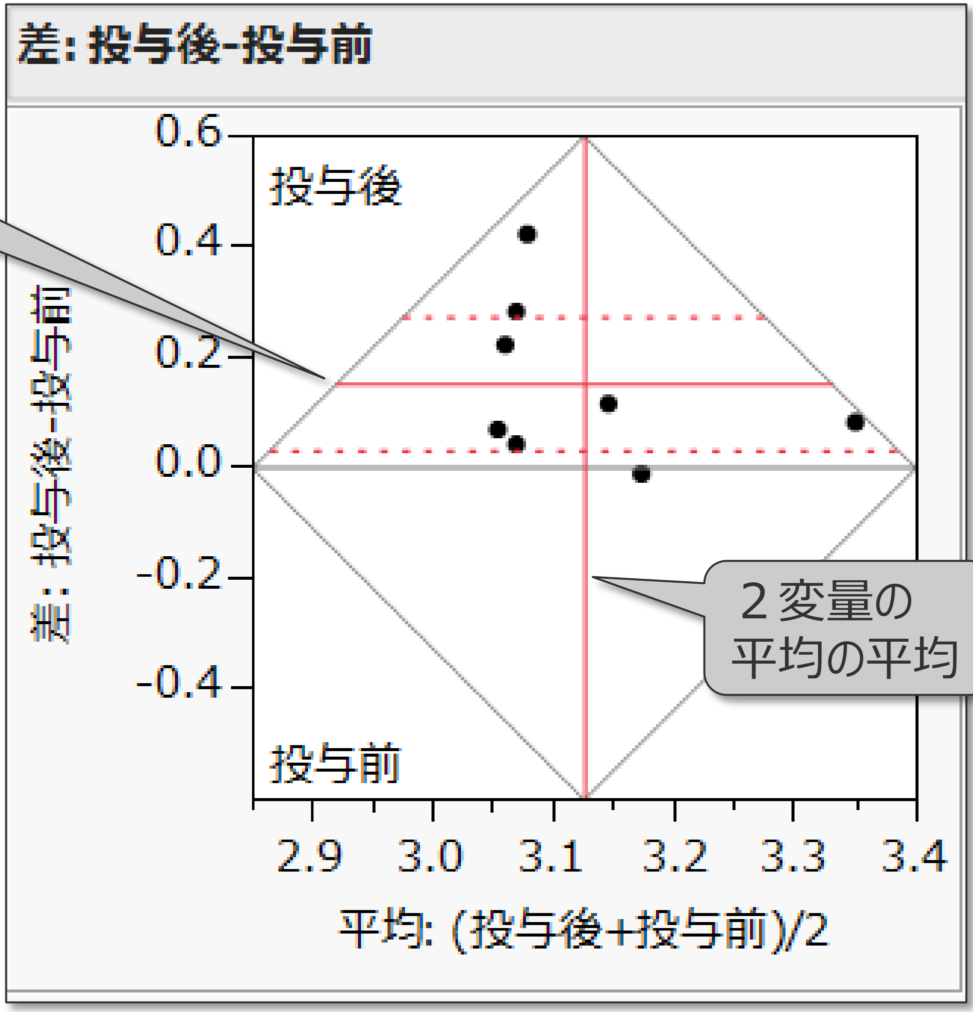


Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

個体番号	投与前	投与後	差	平均
1	3.31	3.39	0.08	3.35
2	2.87	3.29	0.42	3.08
3	3.09	3.20	0.11	3.15
4	2.93	3.21	0.28	3.07
5	3.18	3.17	-0.01	3.18
6	3.02	3.09	0.07	3.06
7	2.95	3.17	0.22	3.06
8	3.05	3.09	0.04	3.07
n	8	8	8	
平均	3.050	3.201	0.151	3.13
平均値の差の区間推定				
α	0.050			
t (α)		2.145	2.365	
下側		**0.02**	**0.03**	
上側		**0.28**	**0.27**	

表示3.5.2



Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot の構造

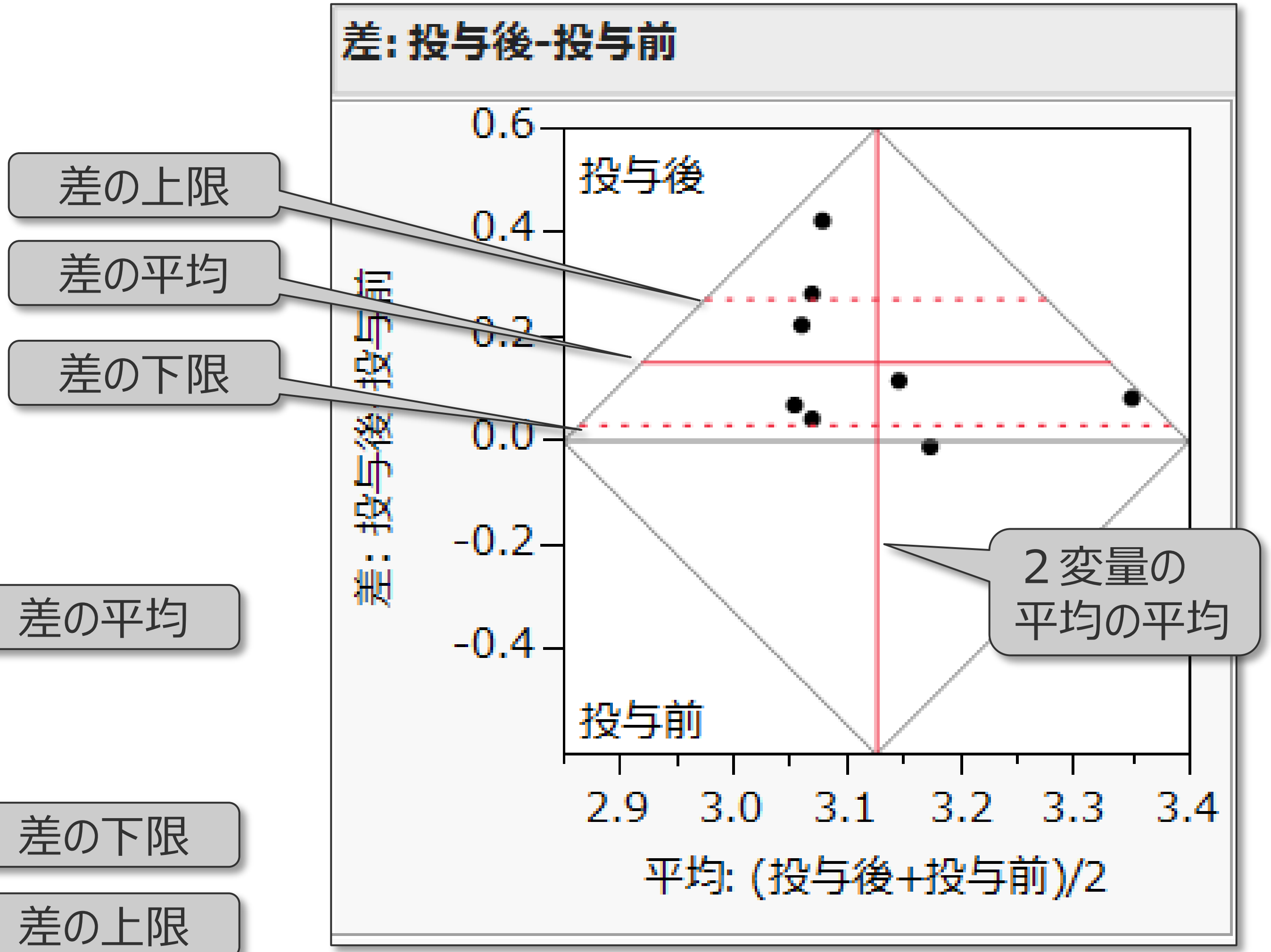
個体番号	投与前	投与後	差	平均
1	3.31	3.39	0.08	3.35
2	2.87	3.29	0.42	3.08
3	3.09	3.20	0.11	3.15
4	2.93	3.21	0.28	3.07
5	3.18	3.17	-0.01	3.18
6	3.02	3.09	0.07	3.06
7	2.95	3.17	0.22	3.06
8	3.05	3.09	0.04	3.07
n	8	8	8	
平均	3.050	3.201	0.151	3.13
平均値の差の区間推定				
α	0.050			
t (α)		2.145	2.365	
下側		**0.02**	**0.03**	
上側		**0.28**	**0.27**	

差の平均

差の下限

差の上限

表示3.5.2



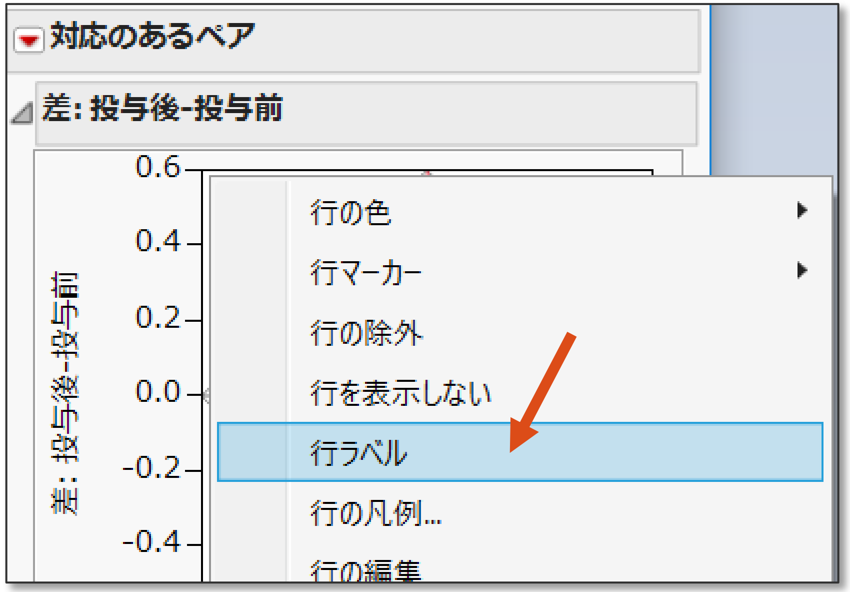
Bland-Altman Plot

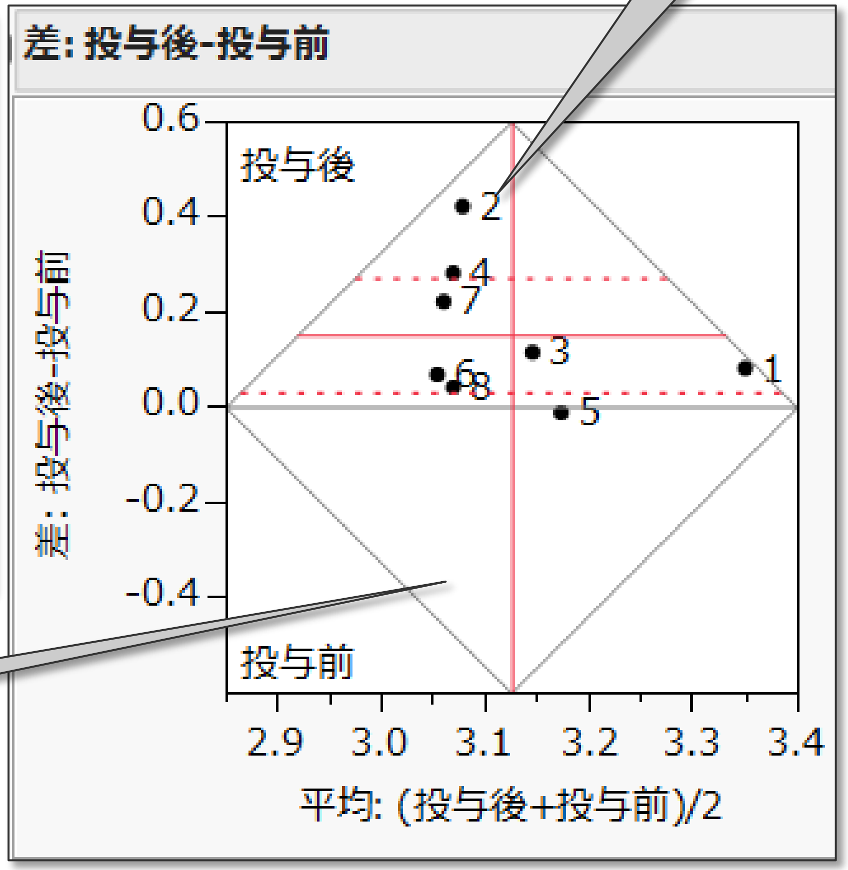
●グラフ中のラベル表示：行番号の表示

すべての行ラベルを表示：グラフの上で右クリック＞［行ラベル］
特定の行ラベルを表示：表示する行を選択＞グラフの上で右クリック＞［行ラベル］

行番号

	個体番号	投与前	投与後
1	1	3.31	3.39
2	2	2.87	3.29
3	3	3.09	3.2
4	4	2.93	3.21
5	5	3.18	3.17
6	6	3.02	3.09
7	7	2.95	3.17
8	8	3.05	3.09





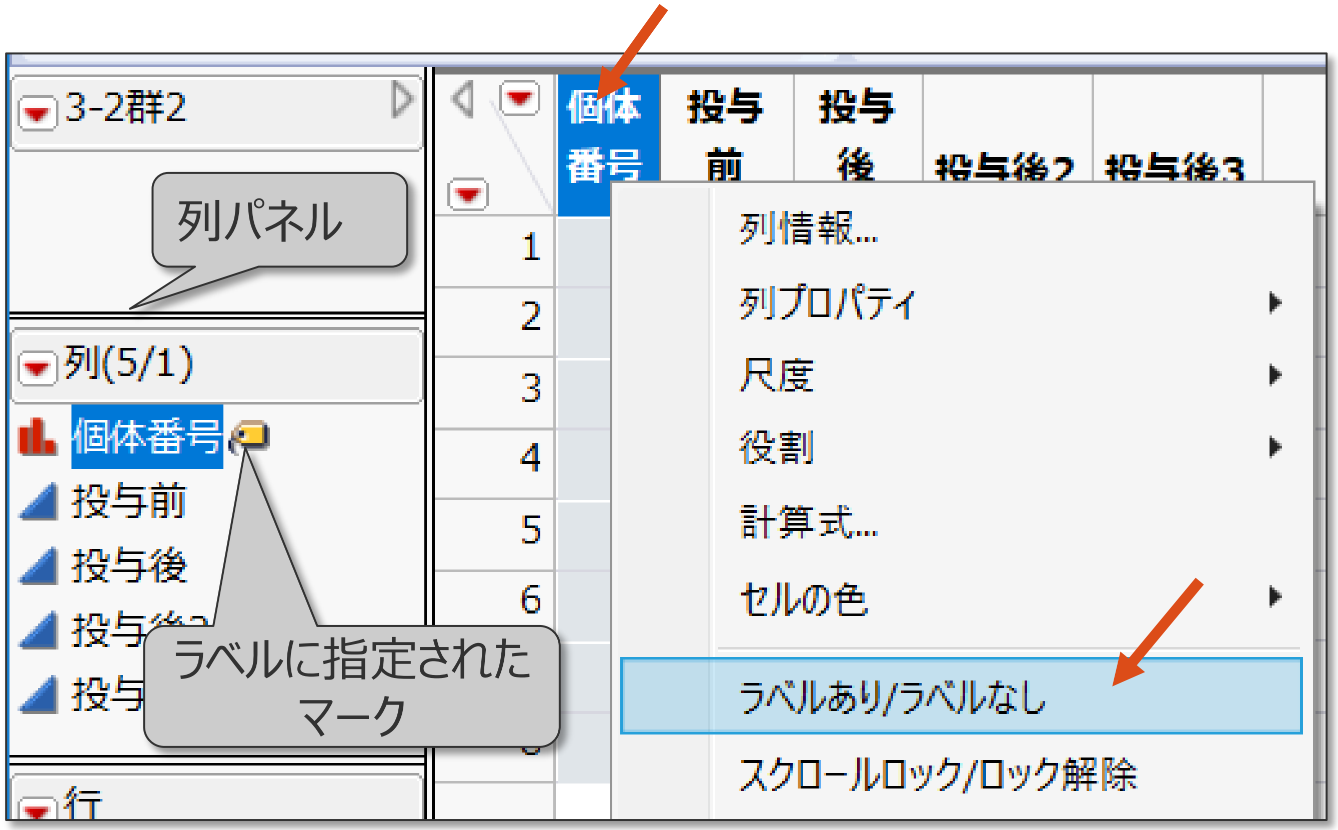
グラフ上で右クリック

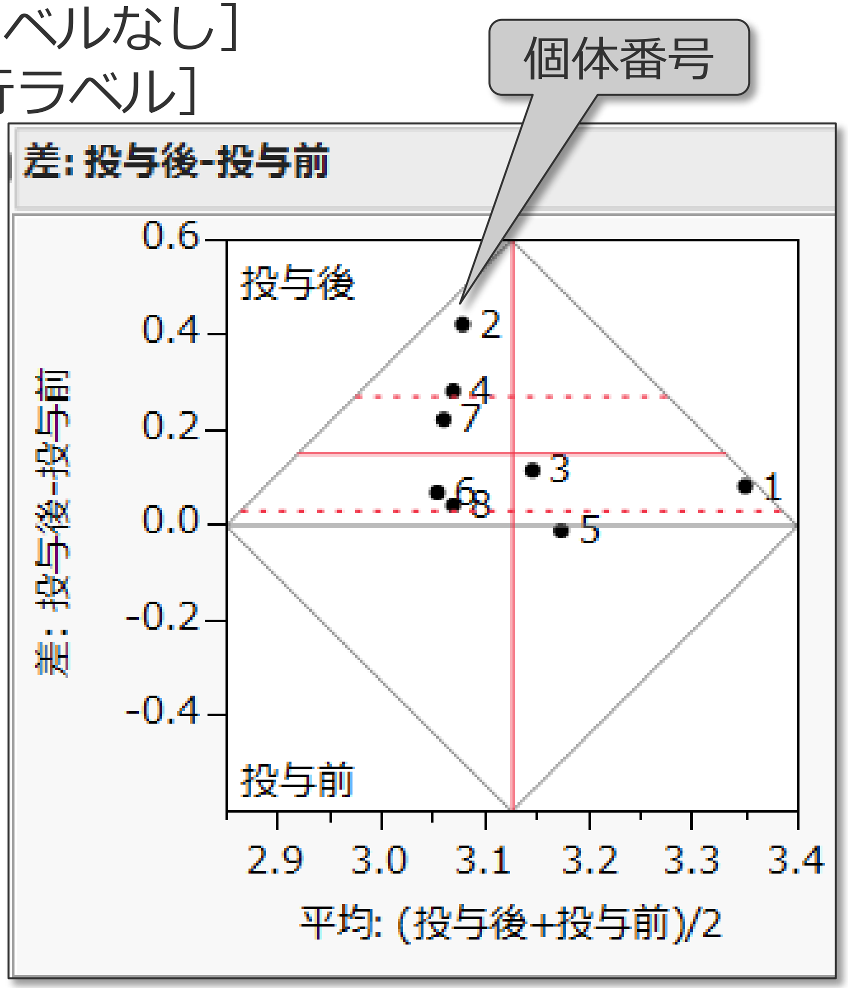
Ctrl キー、Shift キーを利用して複数選択

Bland-Altman Plot

●グラフ中のラベル表示：列に入力されている値を表示

ラベルにしたい列を選択して右クリック＞［ラベルあり／ラベルなし］
ラベルを表示する行を選択＞グラフの上で右クリック>［行ラベル］

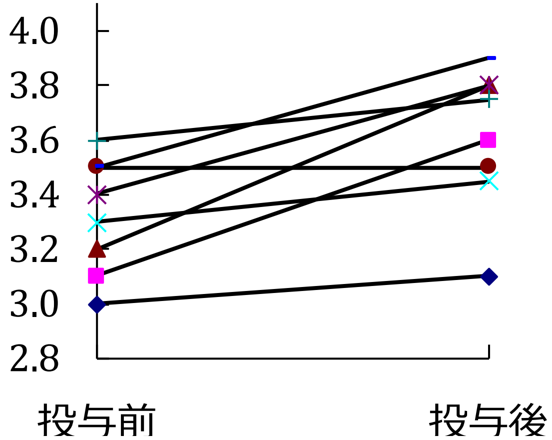


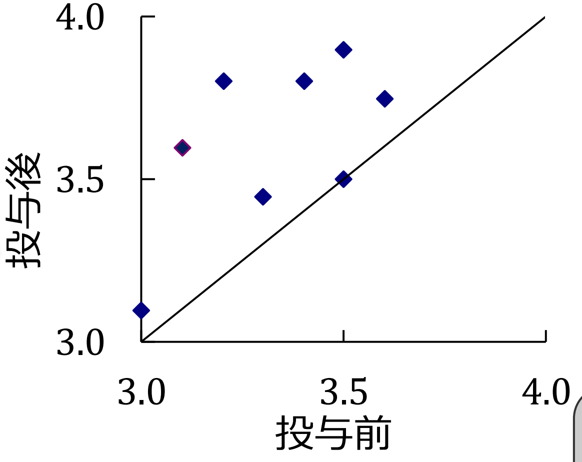


Bland-Altman Plot

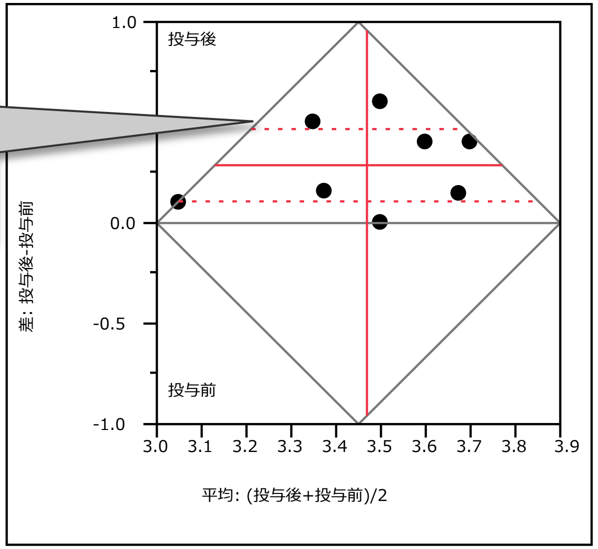
●Bland-Altman Plot のパターン

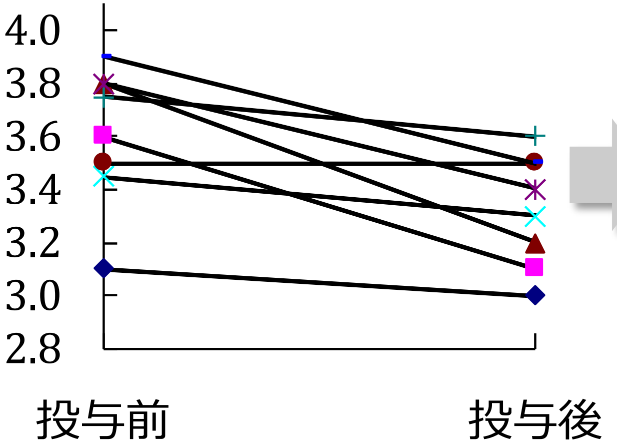
一定量の増減傾向

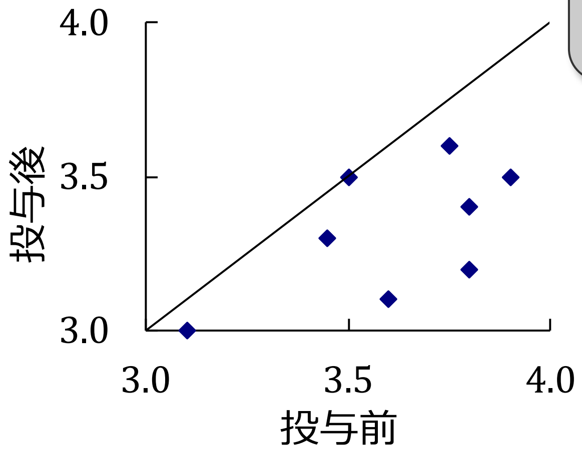




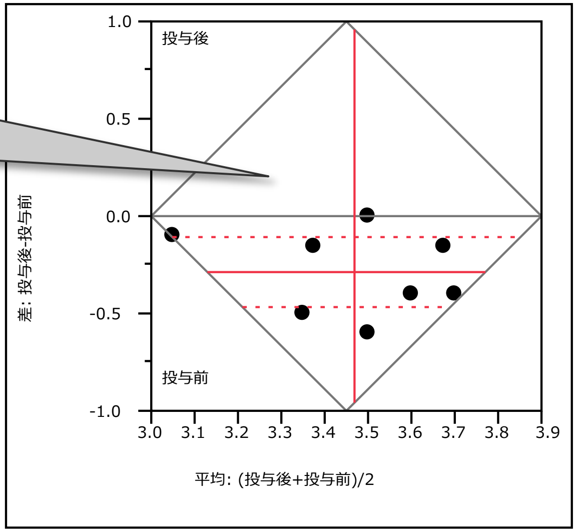
上半分に点在
横軸に平行
→単純な増加傾向







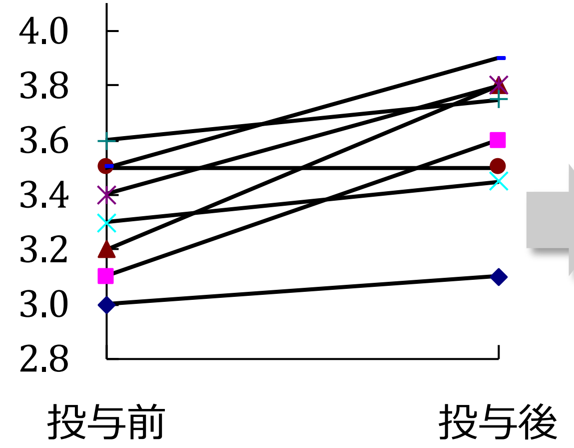
下半分に点在
横軸に平行
→単純な減少傾向

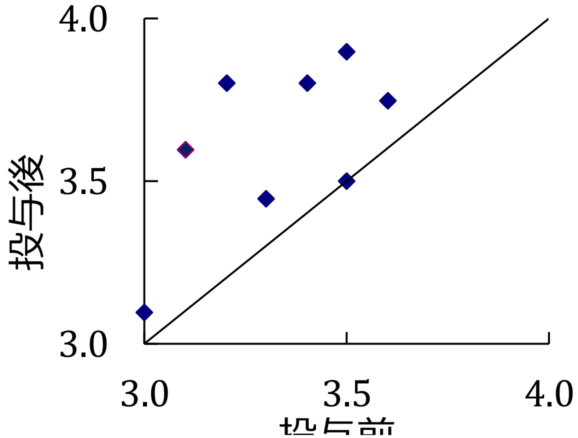


Bland-Altman Plot

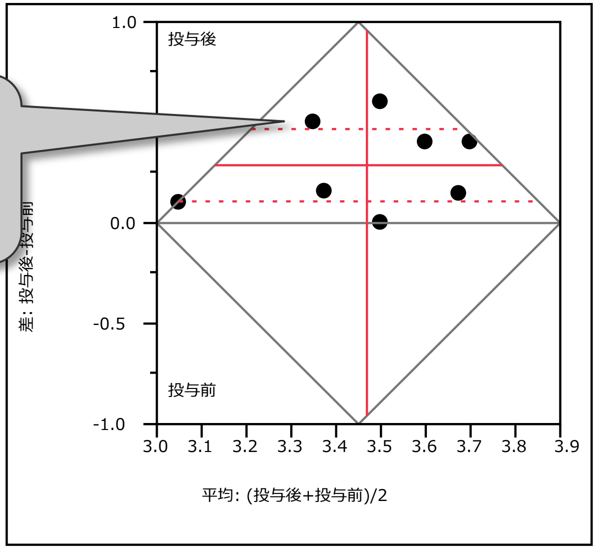
●Bland-Altman Plot のパターン

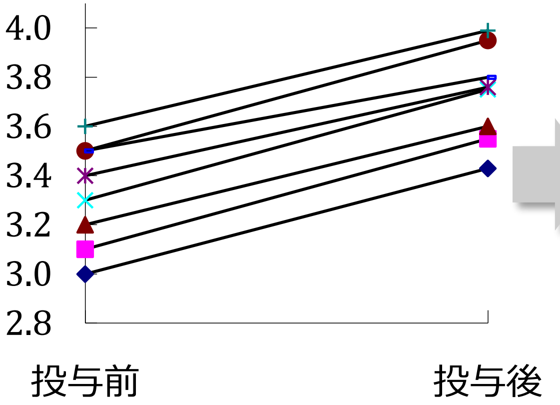
一定量の増加傾向

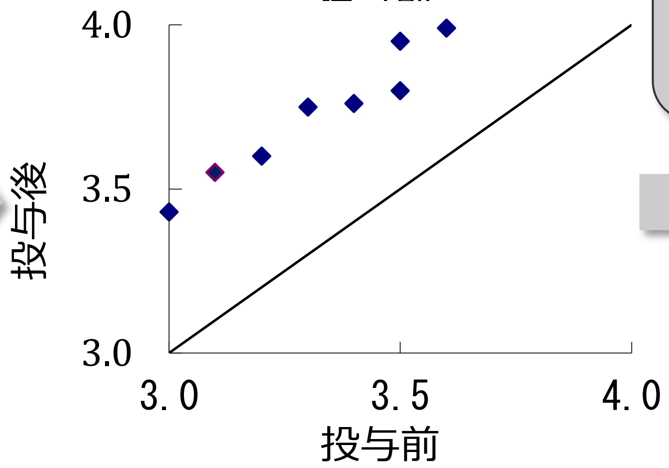




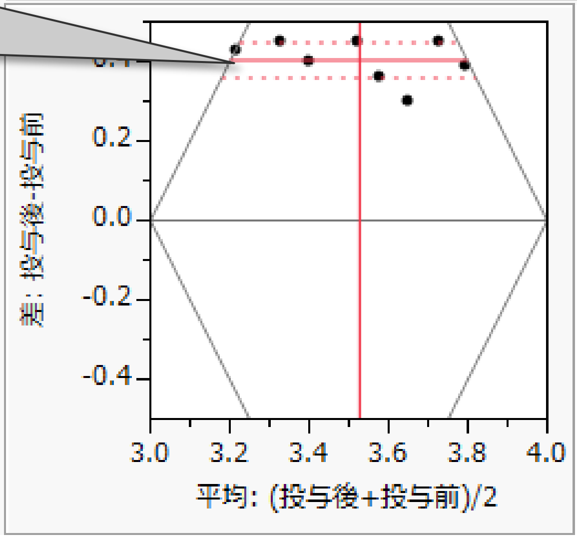
上半分に点在
横軸に平行
→単純な増加傾向







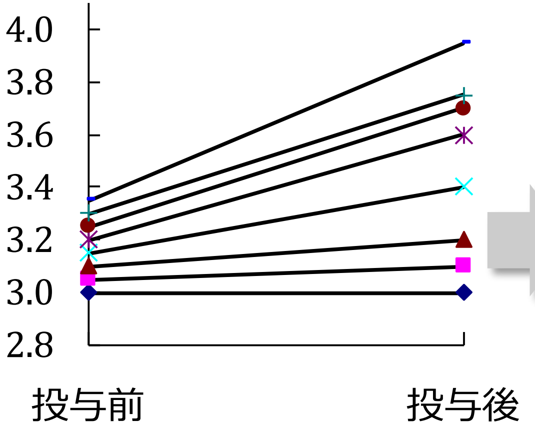
上半分に点在
→増加傾向
バラツキが小さい
→高度に有意

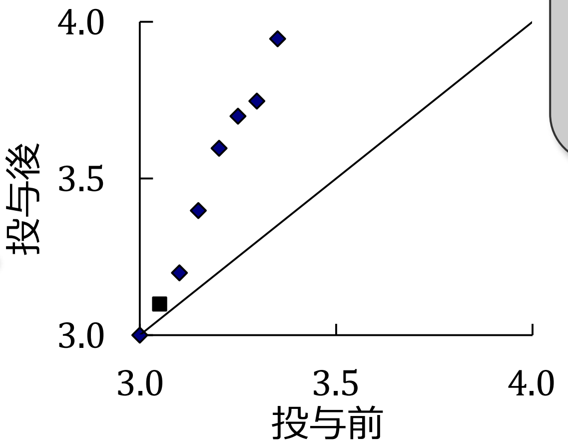


Bland-Altman Plot

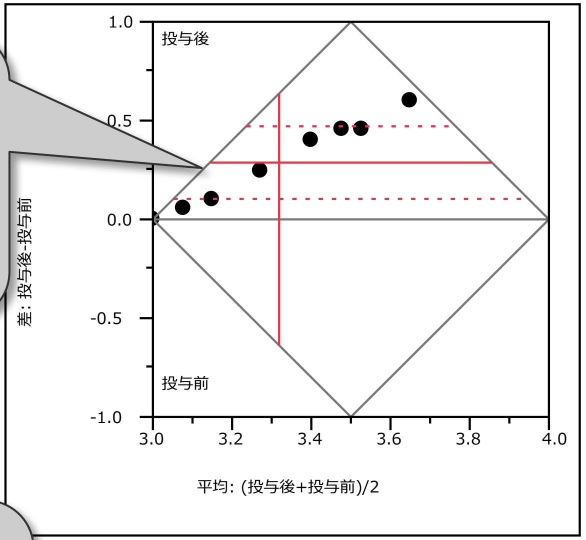
●Bland-Altman Plot のパターン

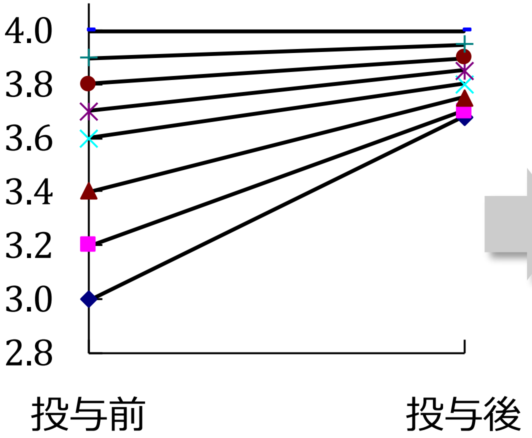
一定割合の増加傾向

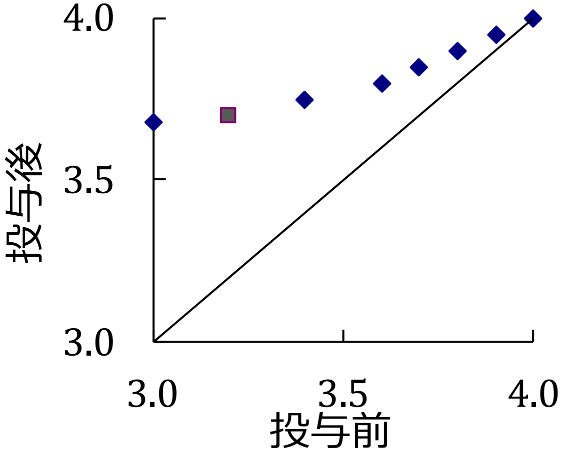




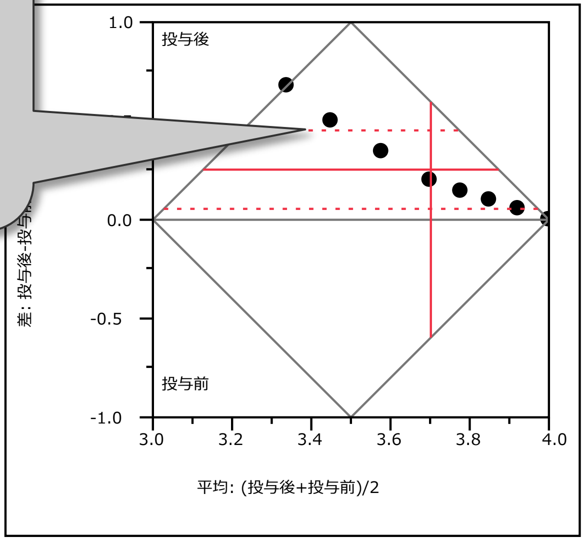
上半分に点在
→増加傾向
右肩上がり
→投与前が高いほど
効果が大きい







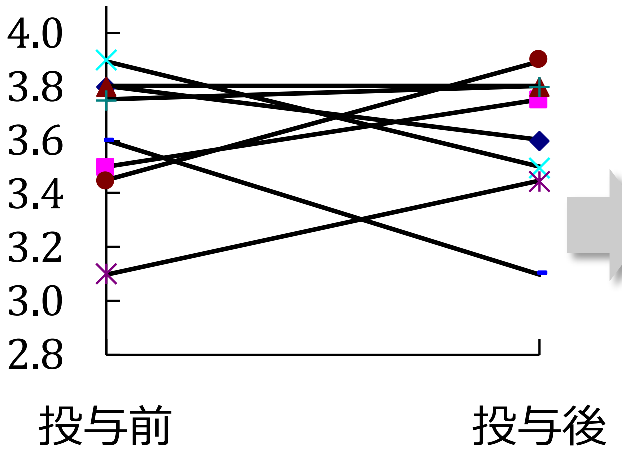
上半分に点在
→増加傾向
右肩下がり
→投与前が低いほど
効果が大きい

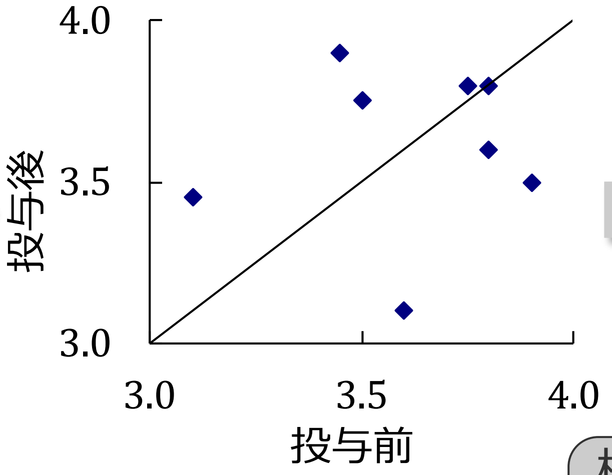


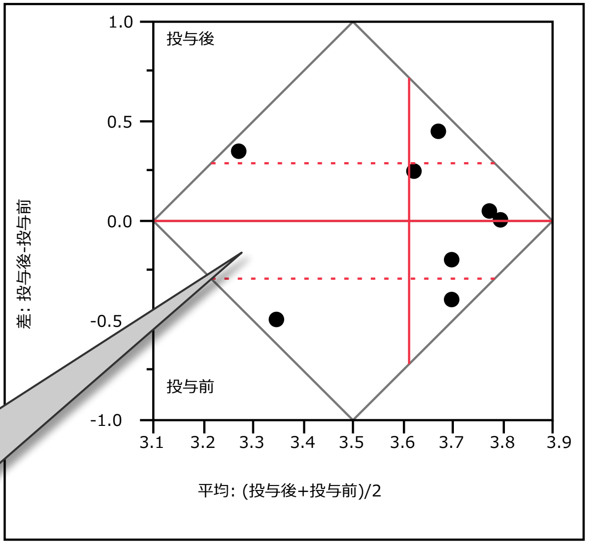
Bland-Altman Plot

●Bland-Altman Plot のパターン

増減の傾向がない







横軸の上下に点在
→増減の傾向が
一定ではない

Bland-Altman Plot を描くことにより、

単に平均値間に有意差があるという単純な結論ではなく、より踏み込んだ解析ができる

２種類の分析法の比較にも応用される（§4.5）

p.155

（3）対応のある t 検定の利点

対応のある t 検定の利点

p.155

●データ

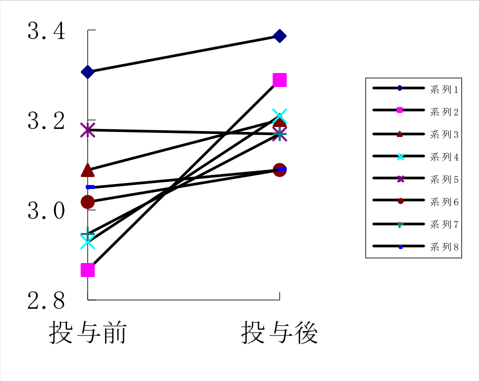
データ

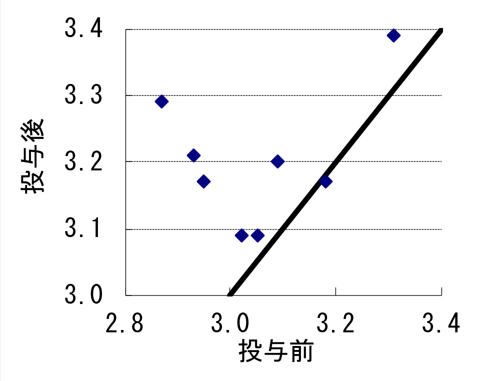
t 検定
対応のある t 検定

修正

表示 3.5.1

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	[illegible]	0.08
2	2.87	[illegible]	0.42
3	3.09	[illegible]	0.11
4	2.93	3.21	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.015	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		2.446	2.969
p値(片側)		0.014	0.010
p値(両側)		0.028	0.021
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t(α)		2.145	2.365
下側		0.02	0.03
上側		0.28	0.27





表示 3.5.3

個[illegible]号	投与前	投与後	差
	3.31	3.39	0.08
	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.73	3.01	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
n	8	8	8
平均	3.03	3.18	0.151
平方和	0.227	0.102	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.023	0.021
平均値の差の標準誤差		0.077	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		1.975	2.9694
p値(片側)		0.034	0.0104
p値(両側)		0.068	0.0208
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t(α)		2.145	2.3646
下側		-0.01	0.0308
上側		0.32	0.2717

対応のある *t* 検定の利点

p.155

- データ
  - 表示 3.5.1 のデータを修正
  - 個体番号 4
    - 投与前　2.93 →　2.73（－0.2）
    - 投与後　3.21 →　3.01（－0.2）
  - 差（効果）を維持
  - 個体間のばらつきを増大

  - 被験者 4 の測定前の値が
  - たまたま低目だった
  - 示した効果は同じだったという想定

元データ（表示 3.5.1）

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.93	3.21	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
s.d.	0.13	0.09	0.13

修正
投与前、投与後
いずれも 0.2 を引く
差は 0.28 で変化なし

修正データ（表示 3.5.3）

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.73	3.01	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
s.d.	0.17	0.11	0.13

個体間のバラツキ増大

変化なし

対応のある t 検定の利点

p.155

●データ

表示 3.5.1 のデータを修正

個体番号４

投与前　2.93 →　2.73（－0.2）

投与後　3.21 →　3.01（－0.2）

差（効果）を維持

個体間のばらつきを増大

被験者４の測定前の値が

たまたま低目だった

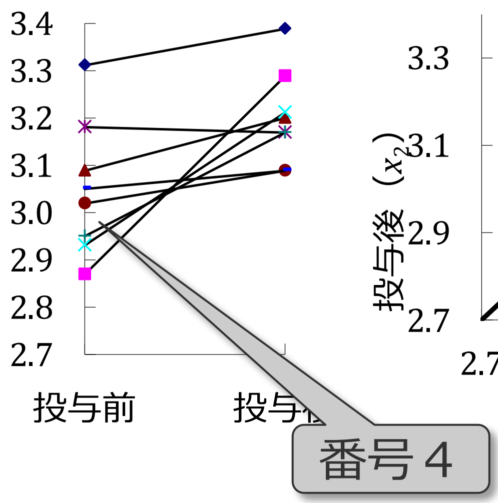
示した効果は同じだったという想定

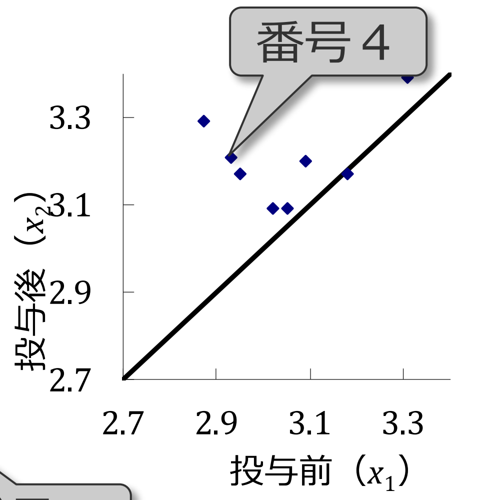
２種類の仮説検定の結果は

どのように変わるか？

元データ（表示 3.5.1）

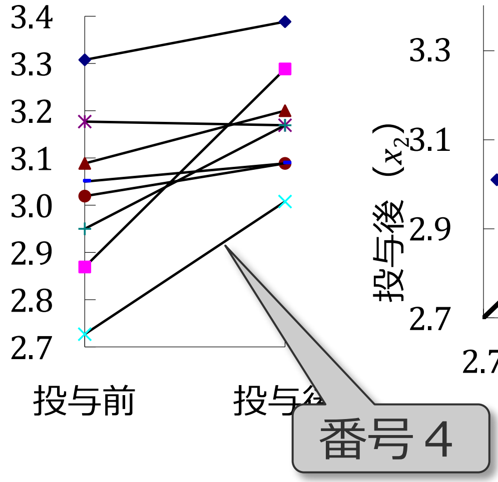
個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.93	3.21	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
s.d.	0.13	0.09	0.13

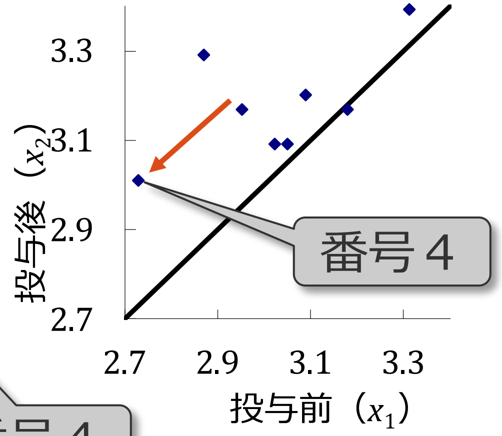




修正データ（表示 3.5.3）

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.73	3.01	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
s.d.	0.17	0.11	0.13





対応のある *t* 検定の利点

p.155

● データ

データ

t 検定
対応のある t 検定

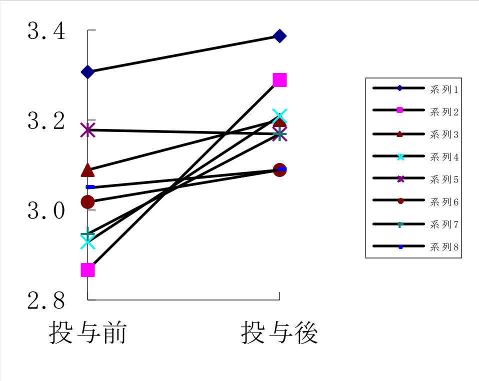
取り出して
別表で比較

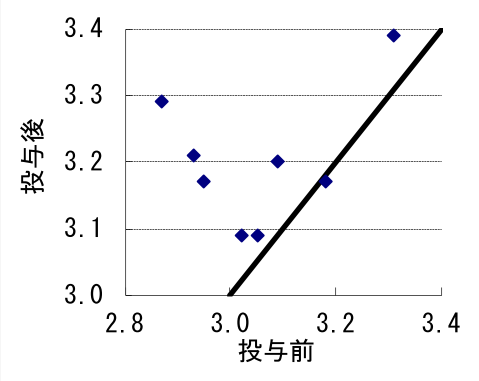
修正

元データ

表示 3.5.1

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3	0.08
2	2.87	9	0.42
3	3.09	20	0.11
4	2.93	3.21	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
n	8	8	8
平均	3.050	3.201	0.151
平方和	0.144	0.070	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.015	0.021
平均値の差の標準誤差		0.062	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		2.446	2.969
p値(片側)		0.014	0.010
p値(両側)		0.028	0.021
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t(α)		2.145	2.365
下側		0.02	0.03
上側		0.28	0.27





修正データ

表示 3.5.3

個体番号	投与前	投与後	差
	3.31	3.39	0.08
	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.73	3.01	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
n	8	8	8
平均	3.03	3.18	0.151
平方和	0.227	0.102	0.145
自由度	7	7	7
平均平方		0.023	0.021
平均値の差の標準誤差		0.077	0.051
平均値の差の有意差検定			
t		1.975	2.9694
p値(片側)		0.034	0.0104
p値(両側)		0.068	0.0208
平均値の差の区間推定			
α	0.050		
t(α)		2.145	2.3646
下側		-0.01	0.0308
上側		0.32	0.2717

対応のある t 検定の利点

●仮説検定の結果

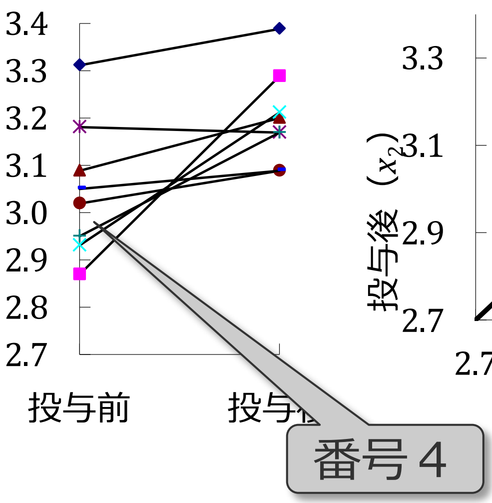
表示 3.5.1 のデータを修正

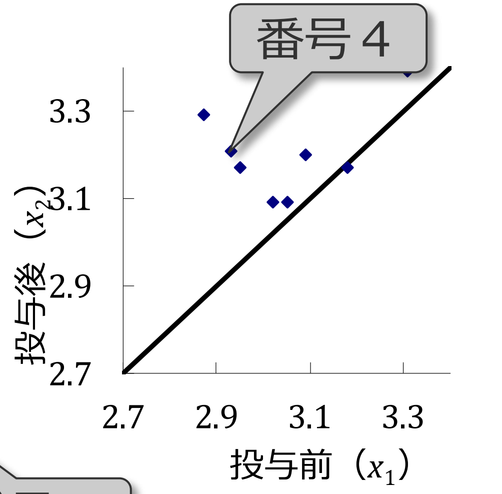
差を維持、個体間のばらつきを増大

t 検定と対応のある t 検定の結果を比較

元データ（表示 3.5.1）

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.93	3.21	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
s.d.	0.13	0.09	0.13





表示 3.5.3

（t 検定）

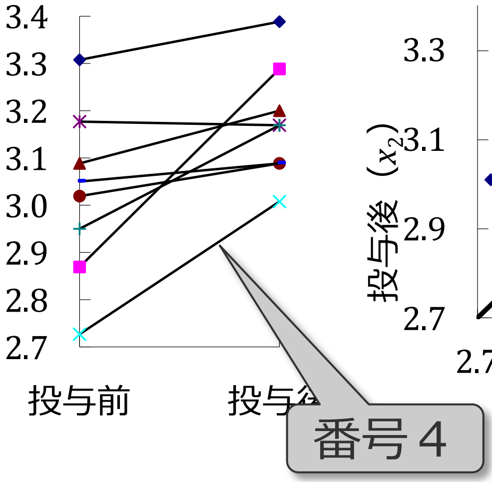
	s.e.	t 値	p 値	信頼区間	
元のデータ	0.062	2.446	0.028	0.02	0.28
修正データ	0.077	1.975	0.068	-0.01	0.32

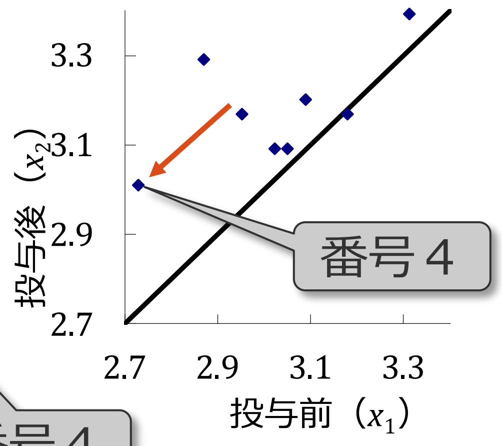
（対応のある t 検定）

	s.e.	t 値	p 値	信頼区間	
元のデータ	0.051	0.021	0.021	0.03	0.27
修正データ	0.051	0.021	0.021	0.03	0.27

修正データ（表示 3.5.3）

個体番号	投与前	投与後	差
1	3.31	3.39	0.08
2	2.87	3.29	0.42
3	3.09	3.20	0.11
4	2.73	3.01	0.28
5	3.18	3.17	-0.01
6	3.02	3.09	0.07
7	2.95	3.17	0.22
8	3.05	3.09	0.04
s.d.	0.17	0.11	0.13





対応のある t 検定の利点

p.155

- 仮説検定の結果、対応のある t 検定の利点
  - 表示 3.5.1 のデータを修正
    - 差を維持、個体間のばらつきを増大
    - t 検定では *s.e.* が増大して検出力低下、信頼区間が拡大
      - 個体差が誤差に含まれる
    - 対応のある t 検定では影響なし、
      - 個体差は誤差に含まれないので，差の検出力が高まる

↑対応のある t 検定の利点

表示 3.5.3

（t 検定）

	s.e.	t 値	p 値	信頼区間	
元のデータ	0.062	2.446	0.028	0.02	0.28
修正データ	0.077	1.975	0.068	-0.01	0.32

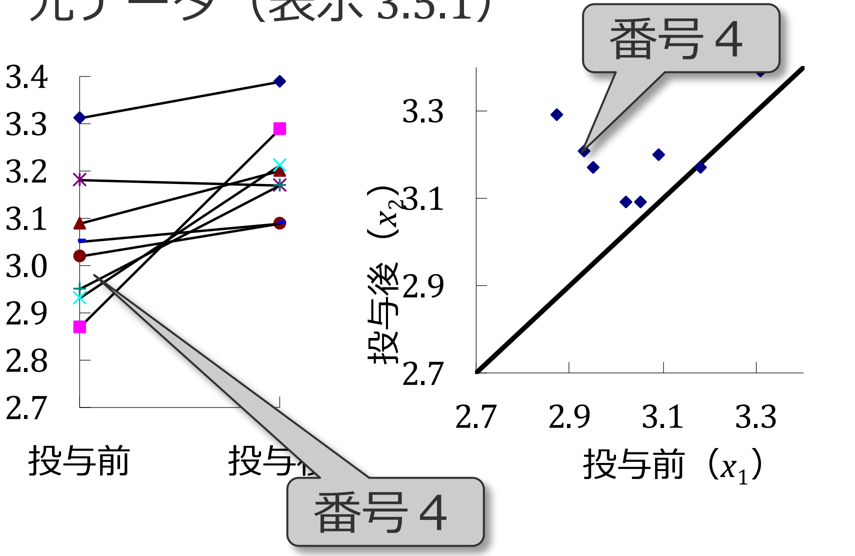
s.e. 増加
t 値減少、p 値増加
有意差がなくなった
信頼区間の幅が拡大

（対応のある t 検定）

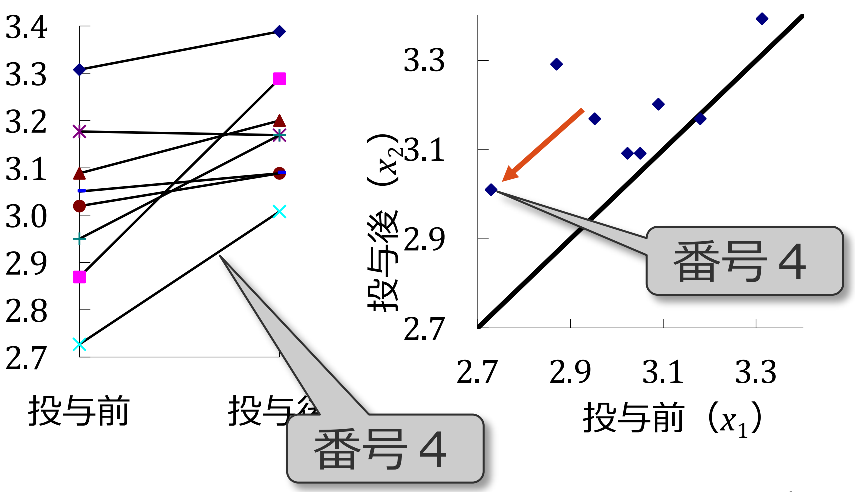
	s.e.	t 値	p 値	信頼区間	
元のデータ	0.051	0.021	0.021	0.03	0.27
修正データ	0.051	0.021	0.021	0.03	0.27

変化なし

元データ（表示 3.5.1）



修正データ（表示 3.5.3）



p.155

対応のあるデータの解析例

演習 3.5.2

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.155

●データと解析内容

以下に示す対応のあるデータを JMP で解析する

個体番号	1	2	3	4	5	6	7	8
投与前	110	125	186	154	208	137	98	180
投与後	126	157	219	189	259	154	110	230

解析する内容

（1）対応を無視した通常の t 検定

（2）対応のある t 検定

（3）散布図による解析

（4）一変量の分布による解析（投与前と投与後の差、投与前と投与後の比の解析）

（5）対数変換したデータの解析

JMP の解析結果をテキストの Excel を使った結果（p.191）と比較

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.191

●データと解析内容

以下に示す対応のあるデータを JMP で解析する

個体番号	1	2	3	4	5	6	7	8
投与前	110	125	186	154	208	137	98	180
投与後	126	157	219	189	259	154	110	230

JMPで新しいデータテーブルを作成し、データを入力

個体番号を「名義尺度」に設定する

列名「個体番号」を右クリック> ［尺度］ > ［名義尺度］

（数値データは自動的に「連続尺度」になるため）

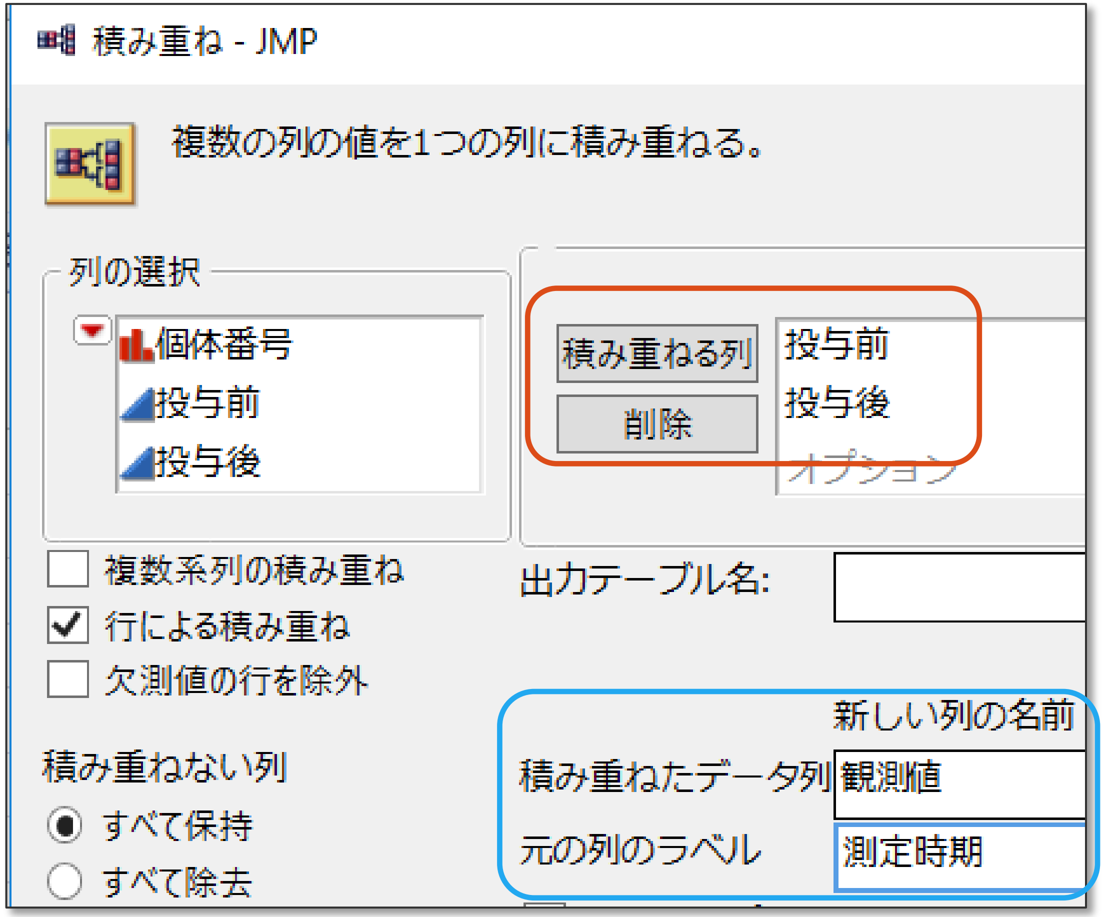
データテーブルを「演習3-5-2横」のファイル名で保存

	個体番号	投与前	投与後
1	1	110	126
2	2	125	157
3	3	186	219
4	4	154	189
5	5	208	259
6	6	137	154
7	7	98	110
8	8	180	230

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- 対応を無視した通常の t 検定
  - データテーブルのデータを縦に並び替え
    - ［テーブル］＞［列の積み重ね］
      - ＞ダイアログボックス
        - ［積み重ねる列］：「投与前」「投与後」
        - ［新しい列の名前］
          - ［積み重ねたデータ列］：「観測値」
          - ［元の列のラベル］：「測定時期」

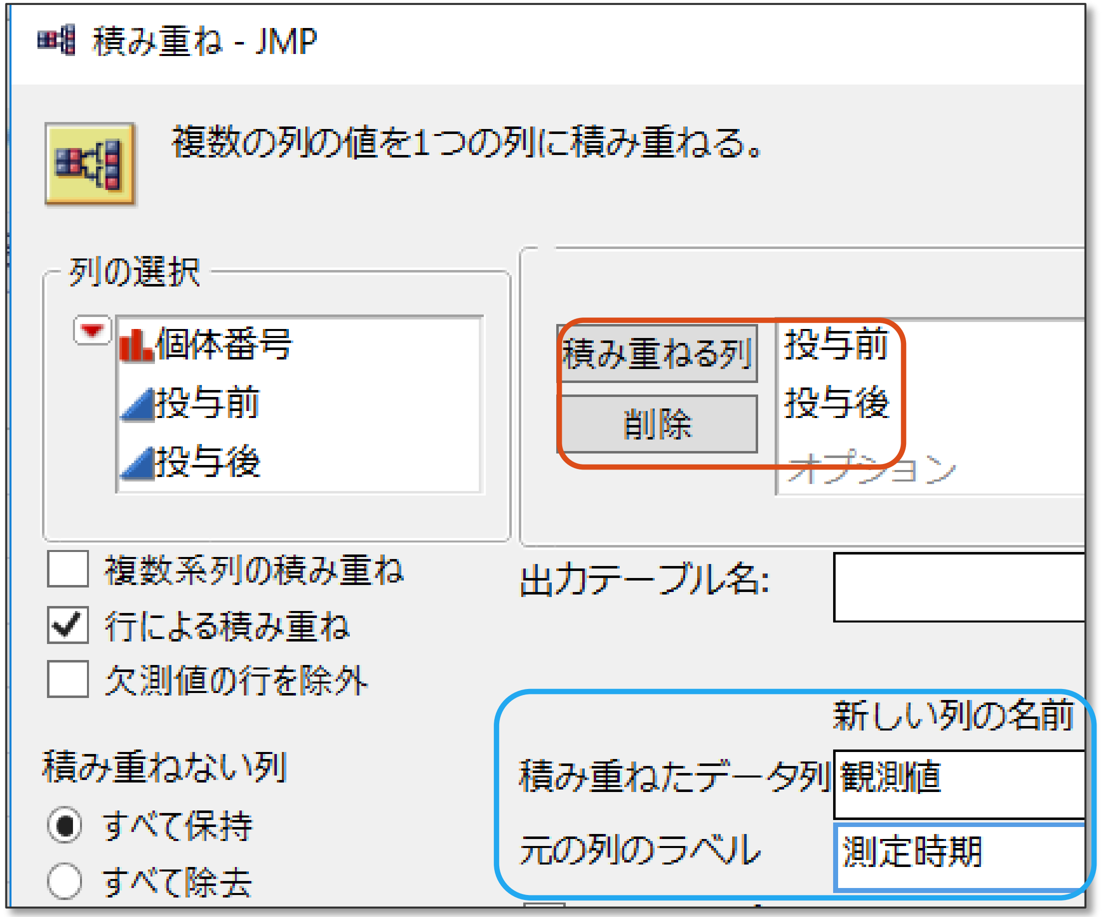


対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

●対応を無視した通常の t 検定

データテーブルのデータを縦に並び替え



積み重ねたデータ列

元の列のラベル

	個体番号	測定時期	観測値
1	1	投与前	110
2	1	投与後	126
3	2	投与前	125
4	2	投与後	157
5	3	投与前	186
6	3	投与後	219
7	4	投与前	154
8	4	投与後	189
9	5	投与前	208
10	5	投与後	259
11	6	投与前	137
12	6	投与後	154
13	7	投与前	98
14	7	投与後	110
15	8	投与前	180
16	8	投与後	230

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

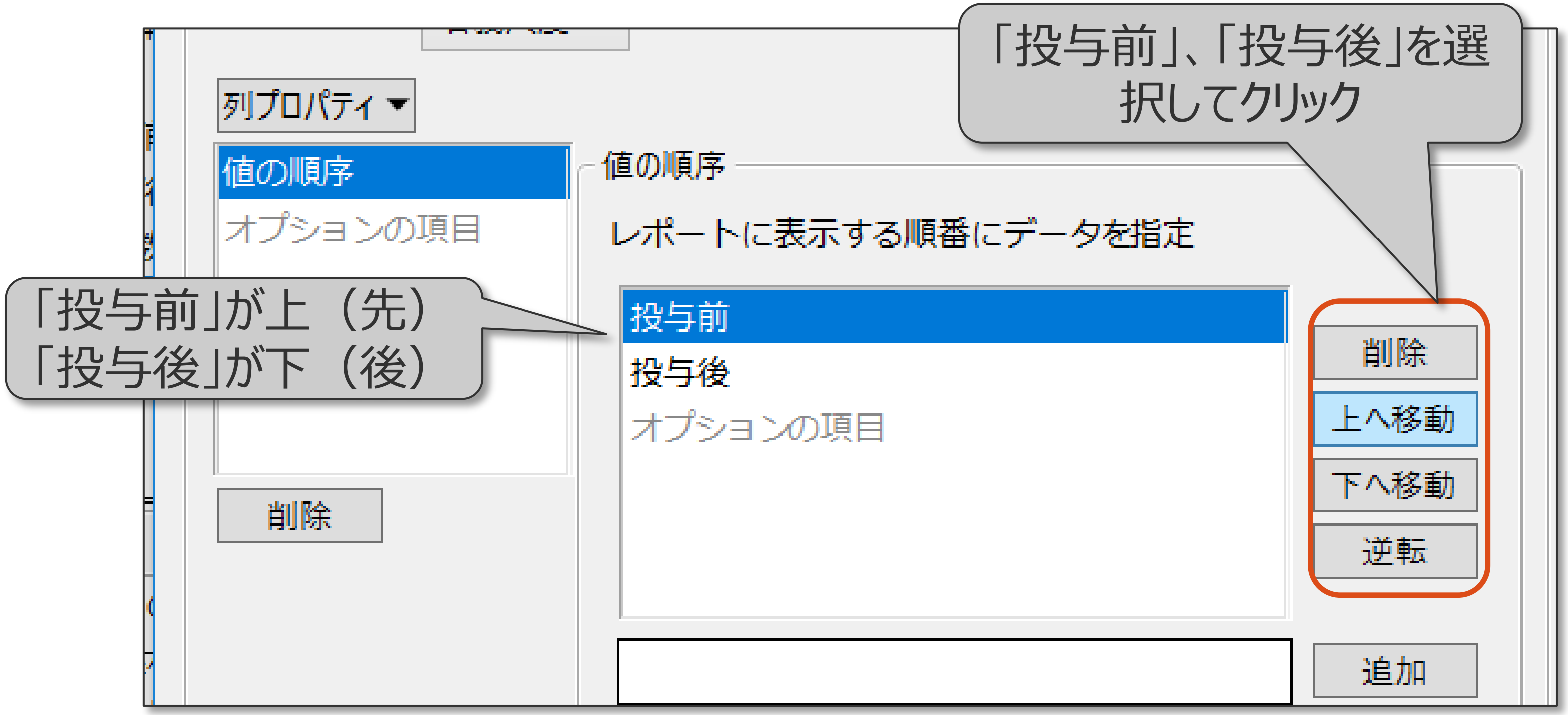
●対応を無視した通常の t 検定

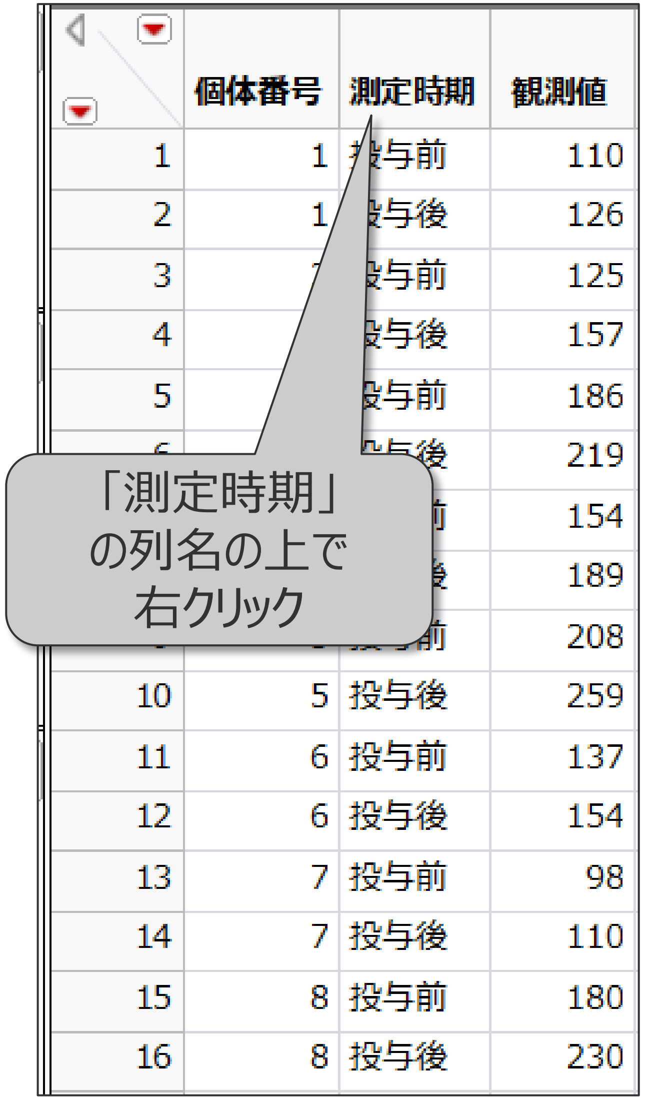
変数「測定時期」の値の順序を指定（文字コードで自動設定される）

列名「測定時期」の上で右クリック＞［列プロパティ］＞

［値の順序］＞ダイアログ

データテーブルの保存：「演習3-5-2縦」として保存





対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

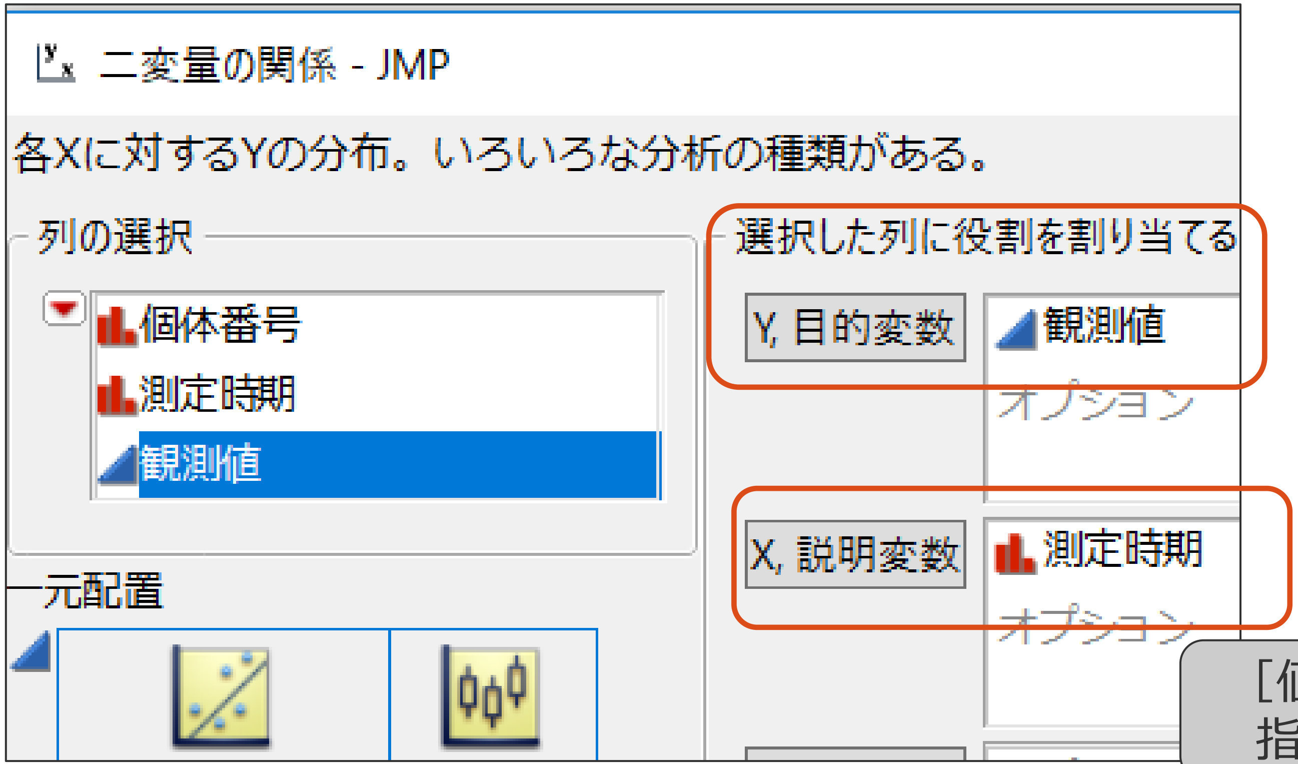
p.192

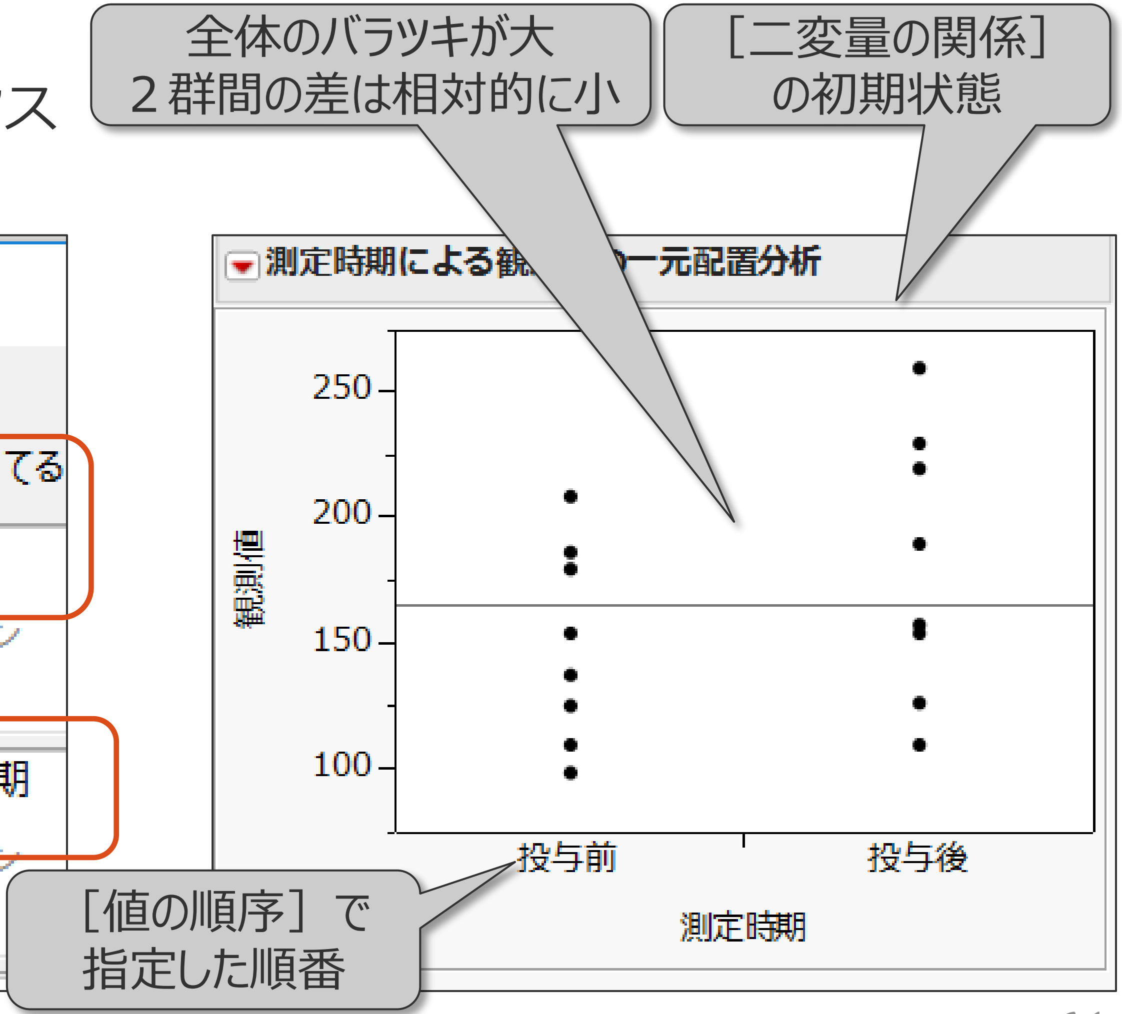
●対応を無視した通常の t 検定

「演習3-5-2縦」 のデータテーブルを使用

［分析］＞ ［二変量の関係］＞ダイアログボックス

ダイアログボックスでの設定

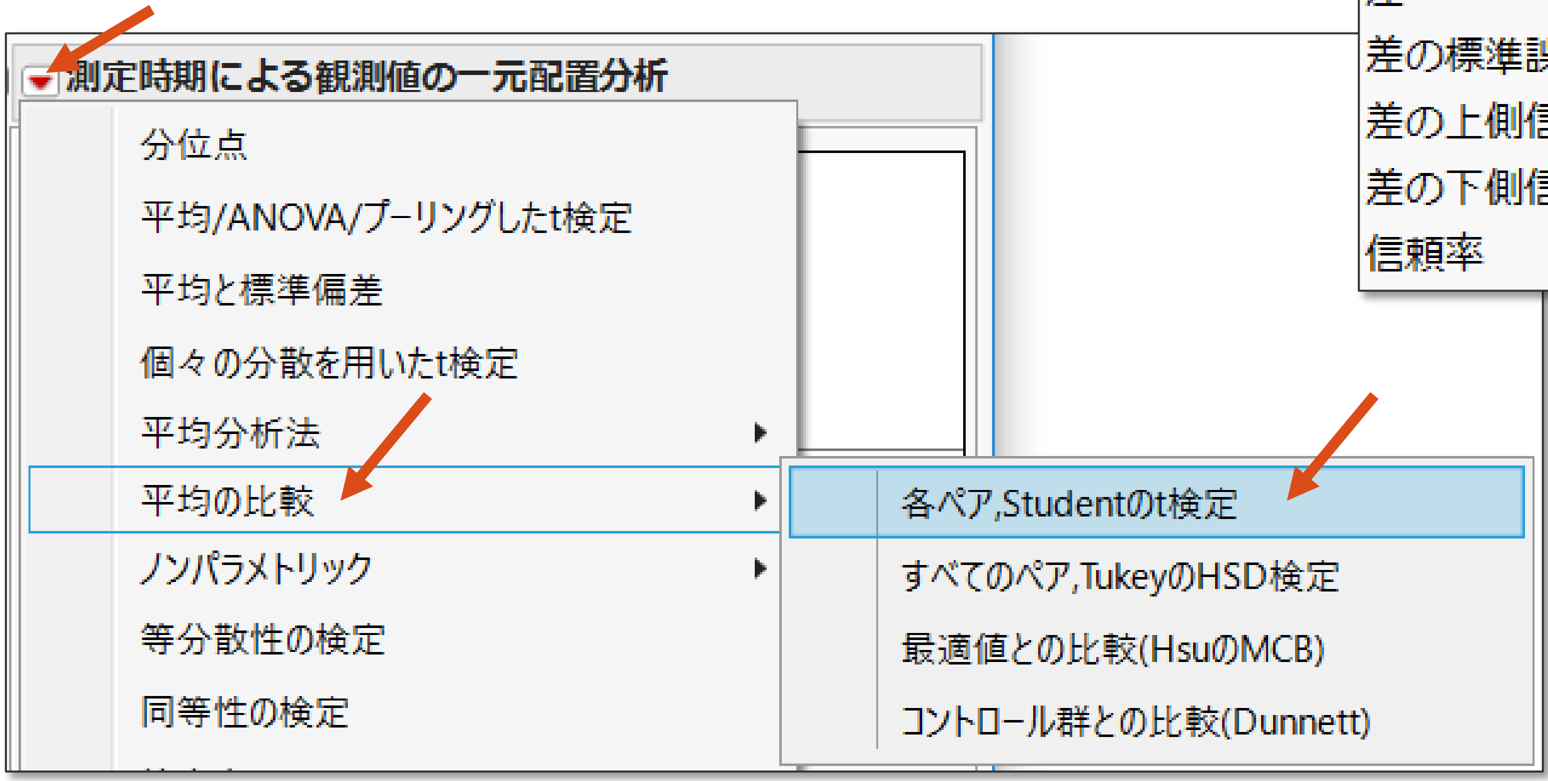




対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- 対応を無視した通常の t 検定
  - ▼オプション＞［平均の比較］
    - ＞［各ペア、Studentのt検定］
  - 表示 3.9.7（p.192）の Excel の結果と一致



表示 3.9.7 の一部に相当

t検定

投与後-投与前

分散が等しいと仮定

差	30.750	t値	1.327766
差の標準誤差	23.159	自由度	14
差の上側信頼限界	80.422	p値(Prob>|t|)	0.2055
差の下側信頼限界	-18.922	p値(Prob>t)	0.1027
信頼率	0.95	p値(Prob<t)	0.8973

両者の平均値の間に
有意差は認められない

対応を無視した
誤った解析

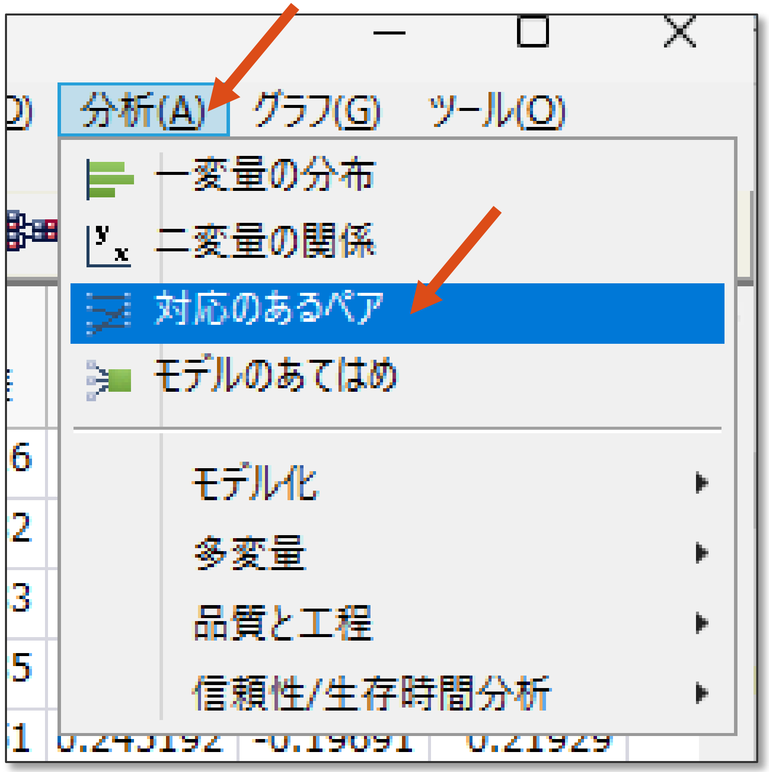
対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

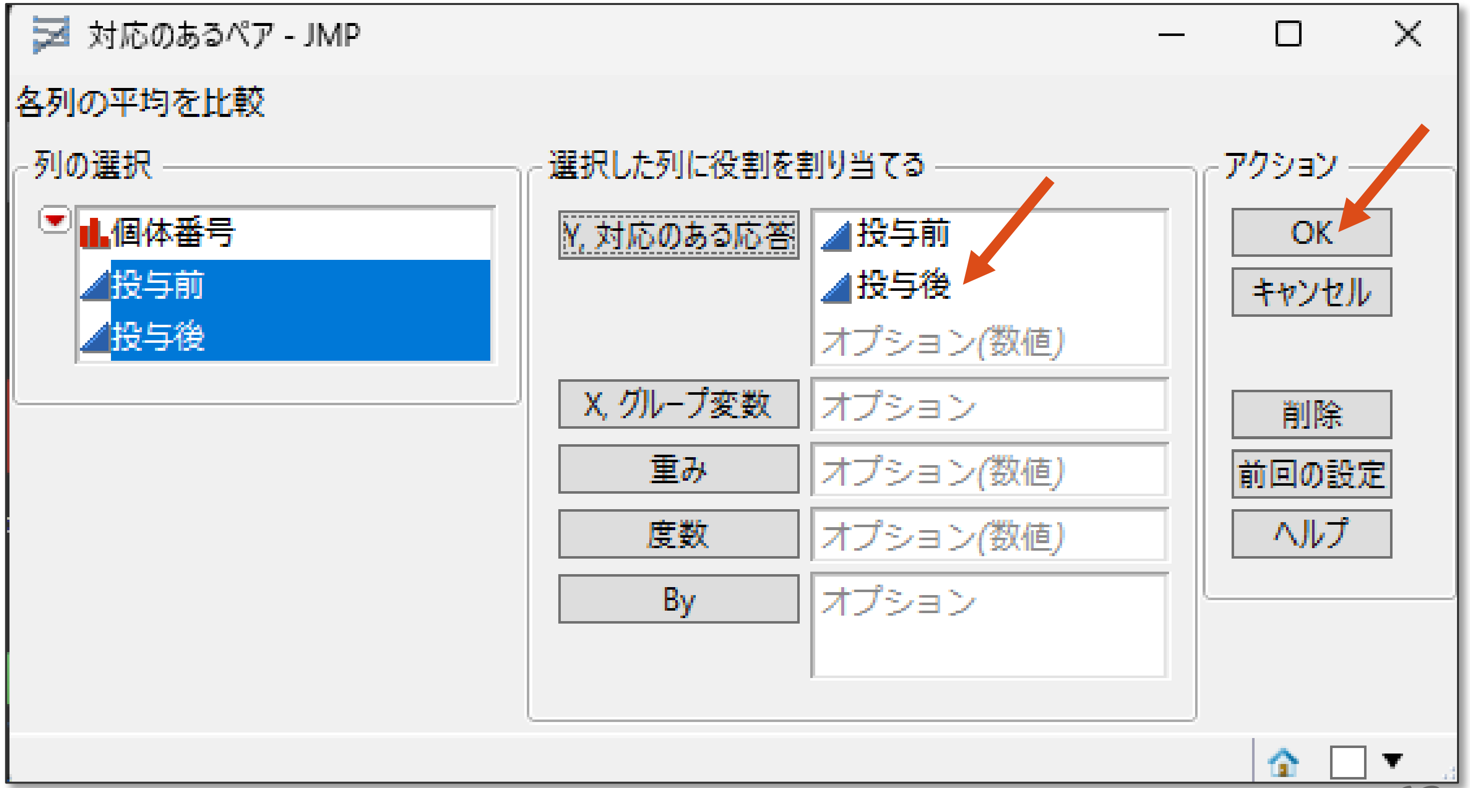
p.192

●対応のある t 検定

「演習3-5-2横」として保存したデータテーブルを使用

［分析］＞［対応のあるペア］＞ダイアログボックス





対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- 対応のある t 検定

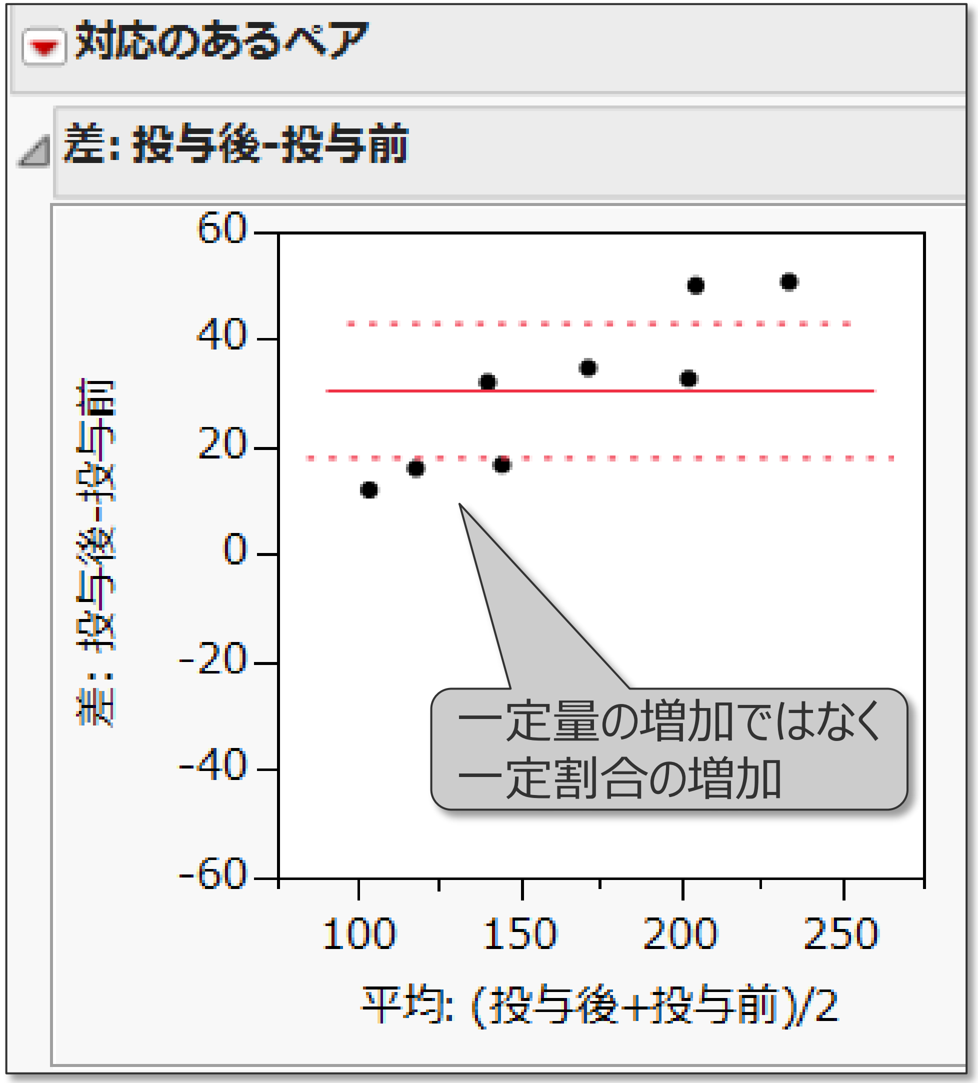
  表示 3.9.7 （p.192）の Excel の結果と一致

  対応を考慮すると両者の差は高度に有意

  Bland-Altman Plot により一定割合の増加を確認

  → 散布図

投与後	180.5	t値	5.819561
投与前	149.75	自由度	7
差の平均	30.75	p値(Prob>|t|)	0.0007*
標準誤差	5.2839	p値(Prob>t)	0.0003*
上側95%	43.2444	p値(Prob<t)	0.9997
下側95%	18.2556		
N	8		
相関	0.99028		



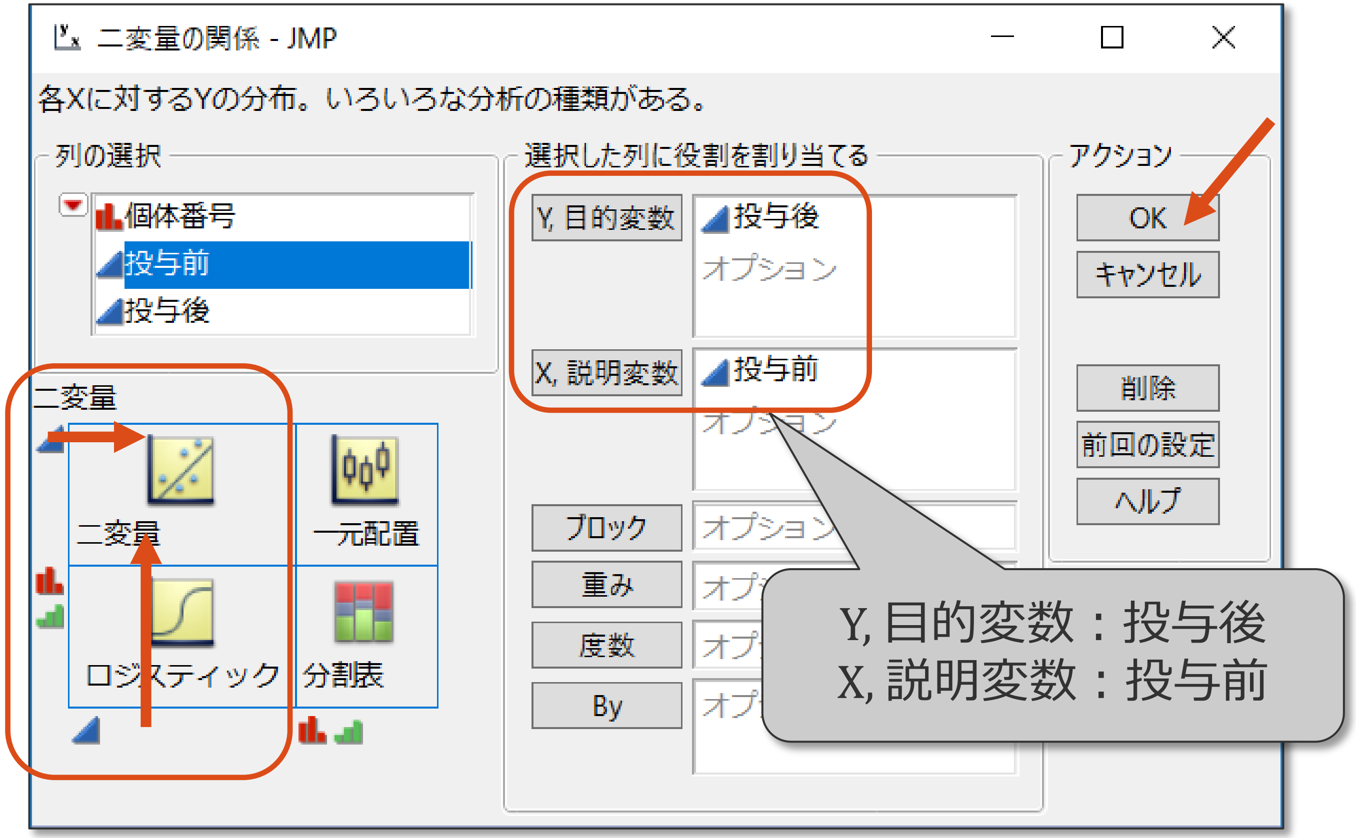
対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

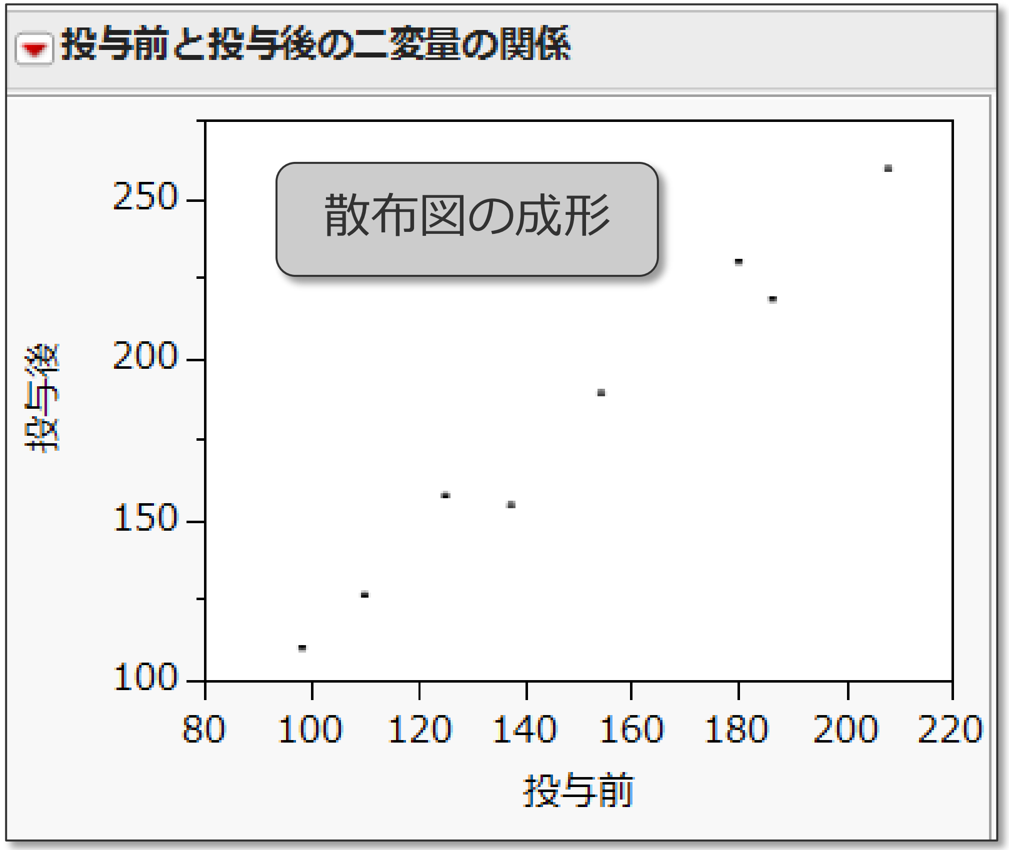
p.192

●散布図による解析

投与前と投与後の散布図を作成（散布図については、§4.1 で解説）

「演習3-5-2横」のデータテーブルで、［分析］＞［二変量の関係］＞ダイアログボックス





対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

●散布図による解析

散布図の成形

グラフの上にカーソルを置いて右クリック

＞ プルダウンメニュー

［マーカーサイズ］の変更

［サイズ／スケール］＞［X軸...］、［Y軸...］

目盛の変更　x軸：0～300、間隔50

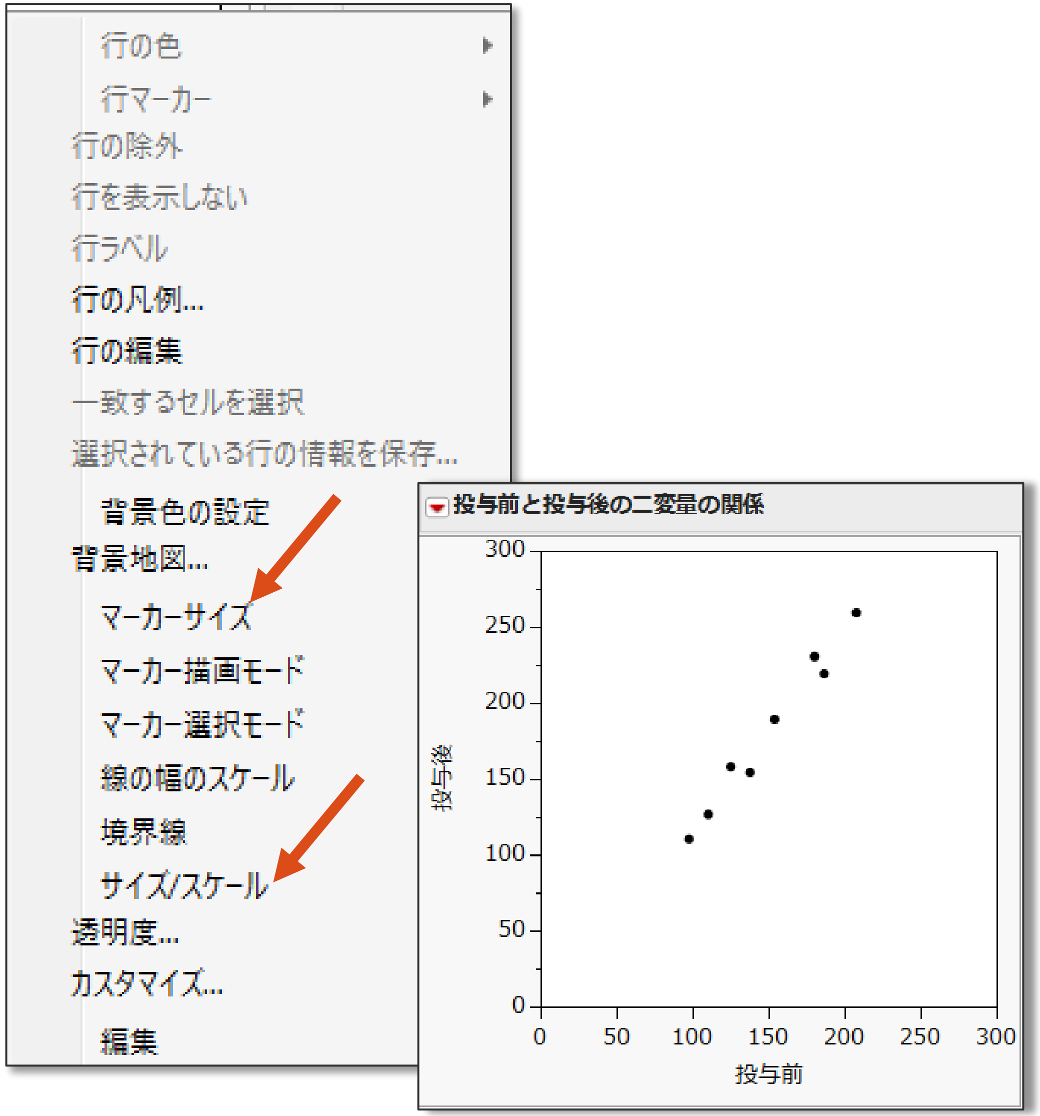
y軸：0～300、間隔50

［サイズ／スケール］＞［フレームサイズ］

左右：240ピクセル

上下：240ピクセル

（横軸と縦軸を同じ長さにする）



対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

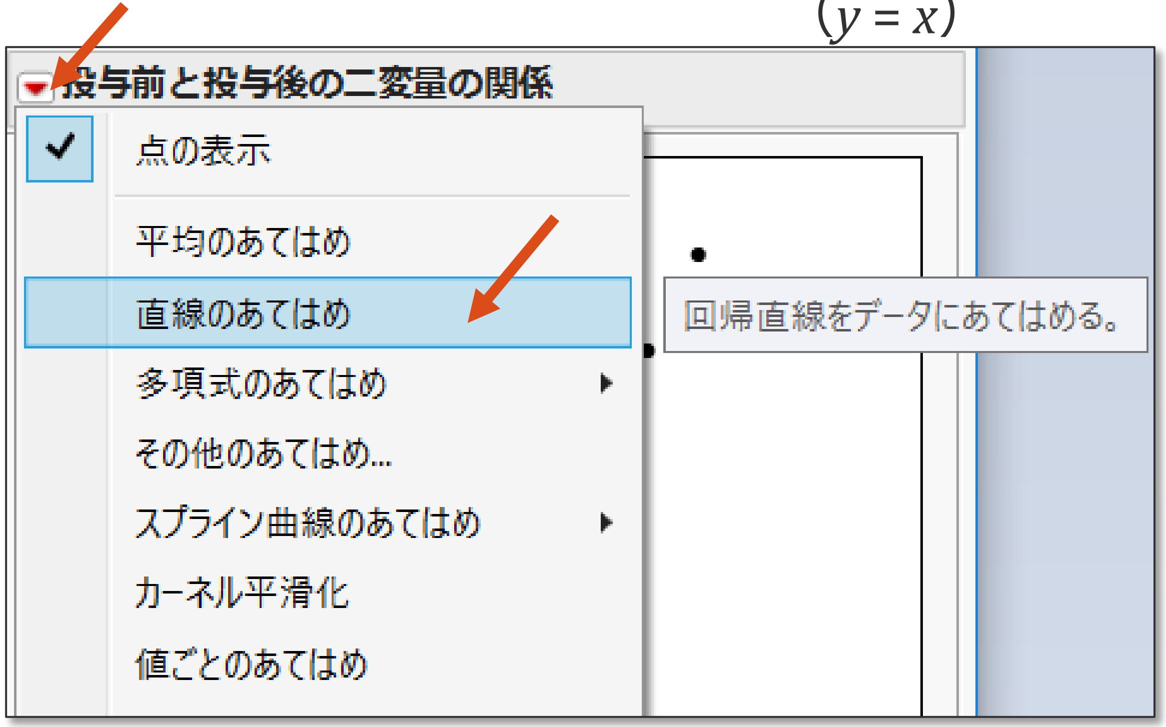
●散布図による解析

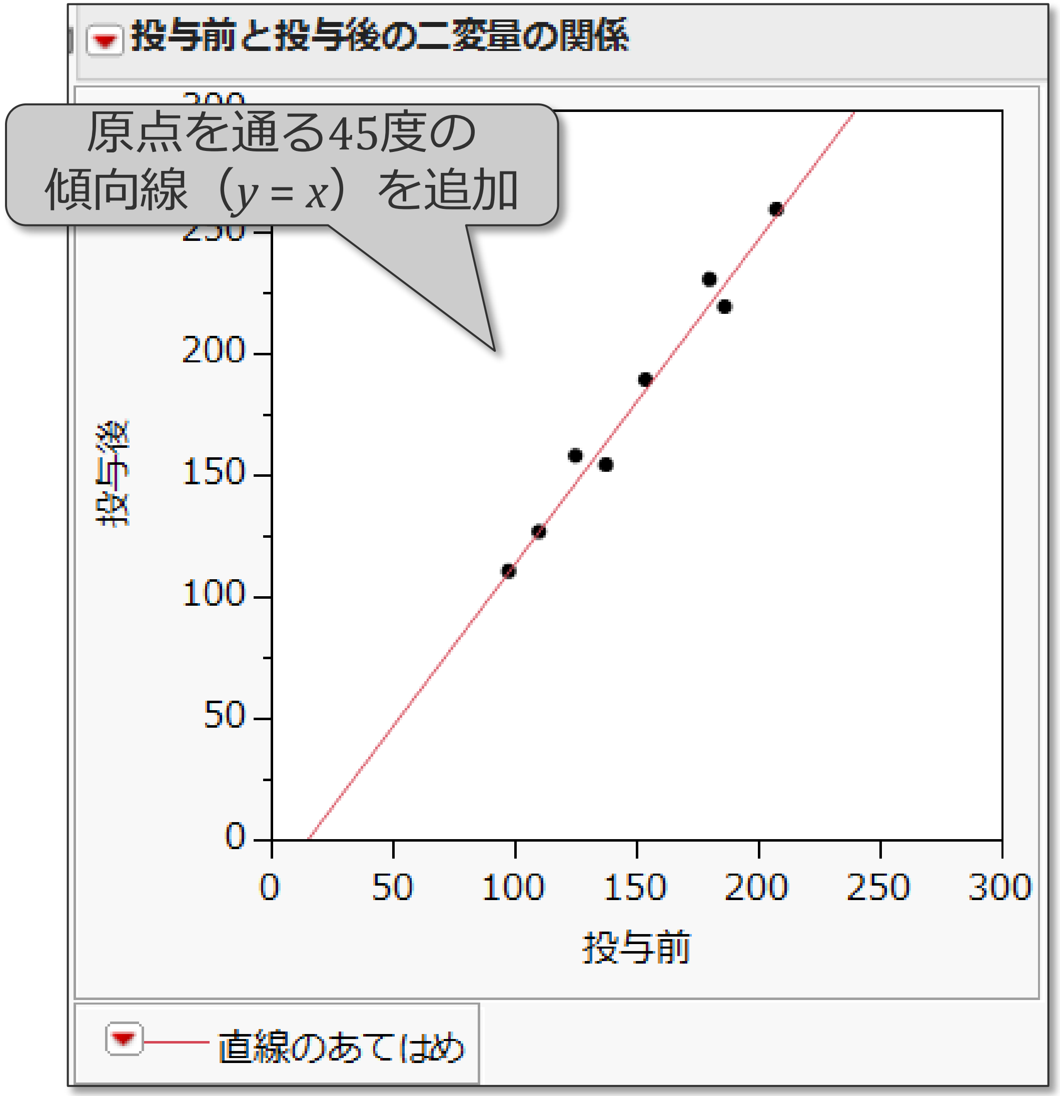
▼オプション＞［直線のあてはめ］

（回帰直線　§ 4.3 p.225）

この近似直線と原点を通る45度の傾向線を比較

（$y = x$）





対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

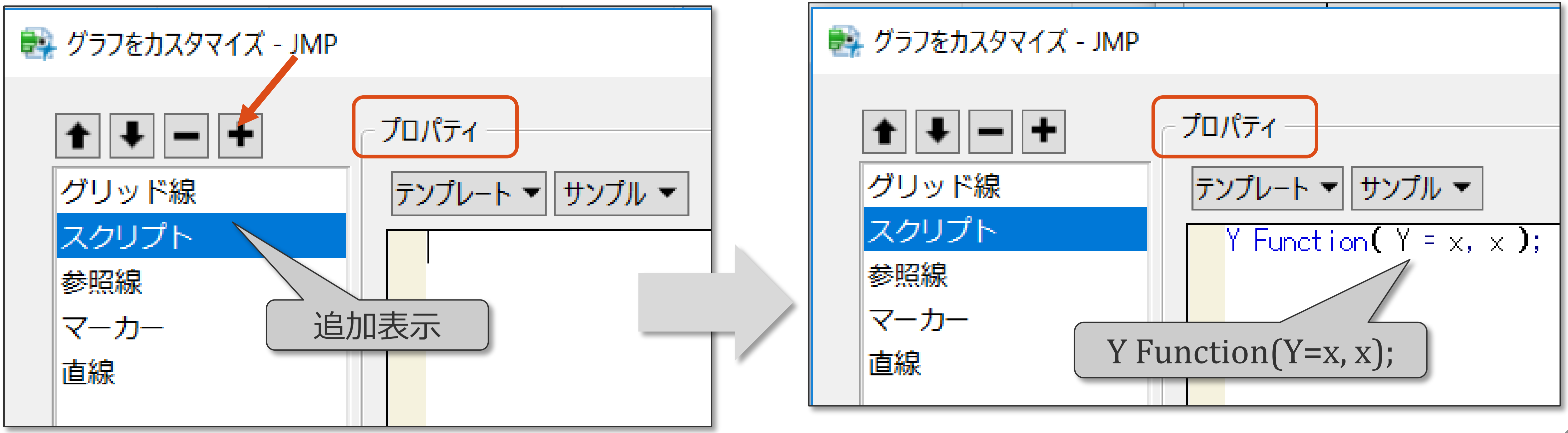
- 散布図による解析

    散布図に $y = x$ の線を追加

    グラフの上にカーソルを置いて右クリック＞［カスタマイズ...］＞ダイアログボックス

        プラス「+」をクリックして［スクリプト］を追加表示

        プロパティに式を入力、［OK］



対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

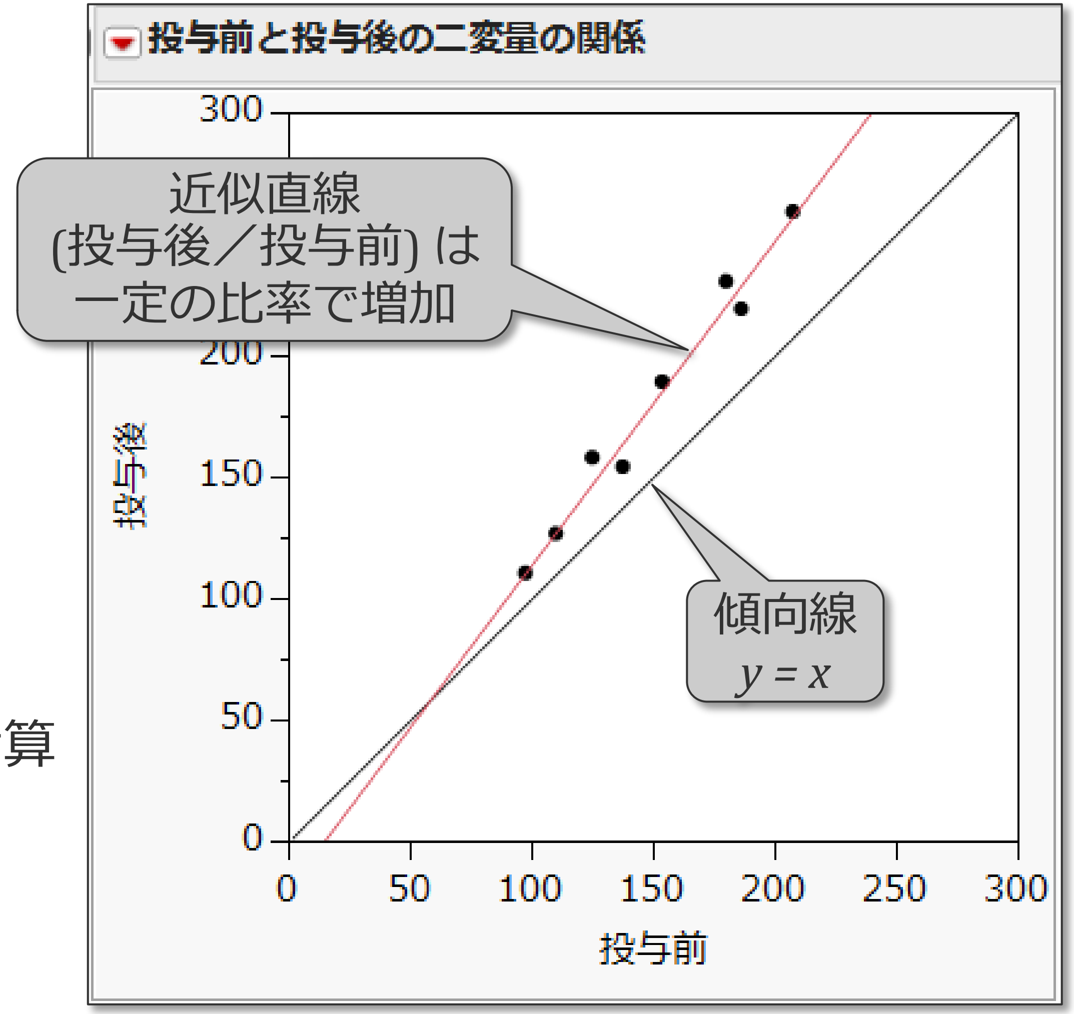
p.192

●散布図による解析

原点を通る45度の傾向線（*y*=*x*）と近似直線を比較
点は傾向線より上にあり、投与後は値が増加
近似直線は、傾向線と平行ではない
すなわち、投与後－投与前＝一定 ではない

近似直線は、ほぼ原点を通る直線
投与後／投与前 は 一定の傾向
↓
(投与後－投与前)の差、 (投与後／投与前)の比を計算

表示 3.9.6 投与前と投与後の関係（JMP による）



対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

●投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較

l投与後／投与前 が 1 と
有意に異なるか

差：投与後－投与前　　　　投与前後の増減が 0 かどうかを検定する

比：投与後／投与前－１　投与前に対する増減割合、投与効果の指標が 0 かどうかを検定

　　投与前／投与後－１　投与後に対する増減割合、投与効果の指標が 0 かどうかを検定

対数の差：ln(投与後)－ln(投与前)

ln(投与後)j－ln(投与前)

	個体番号	投与前	投与後	差	後/前-1	前/後-1	対数の差
1	1	110	126	16	0.1454545	-0.1269841	0.13580154
2	2	125	157	32	0.256	-0.2038216	0.22793206
3	3	186	219	33	0.1774193	-0.1506849	0.16332505
4	4	154	189	35	0.2272727	-0.1851851	0.20479441
5	5	208	259	51	0.2451923	-0.1969111	0.21928998
6	6	137	154	17	0.1240875	-0.1103896	0.11697167
7	7	98	110	12	0.1224489	-0.1090909	0.11551288
8	8	180	230	50	0.2777777	-0.2173913	0.24512245

　投与後／投与前－１

＝投与後／投与前－投与前／投与前

＝（投与後－投与前）／投与前

　・・・投与前に対しての増減割合

列の新設（計算式の入力）

「対数の差」を例に説明

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

●列の追加と計算式の入力

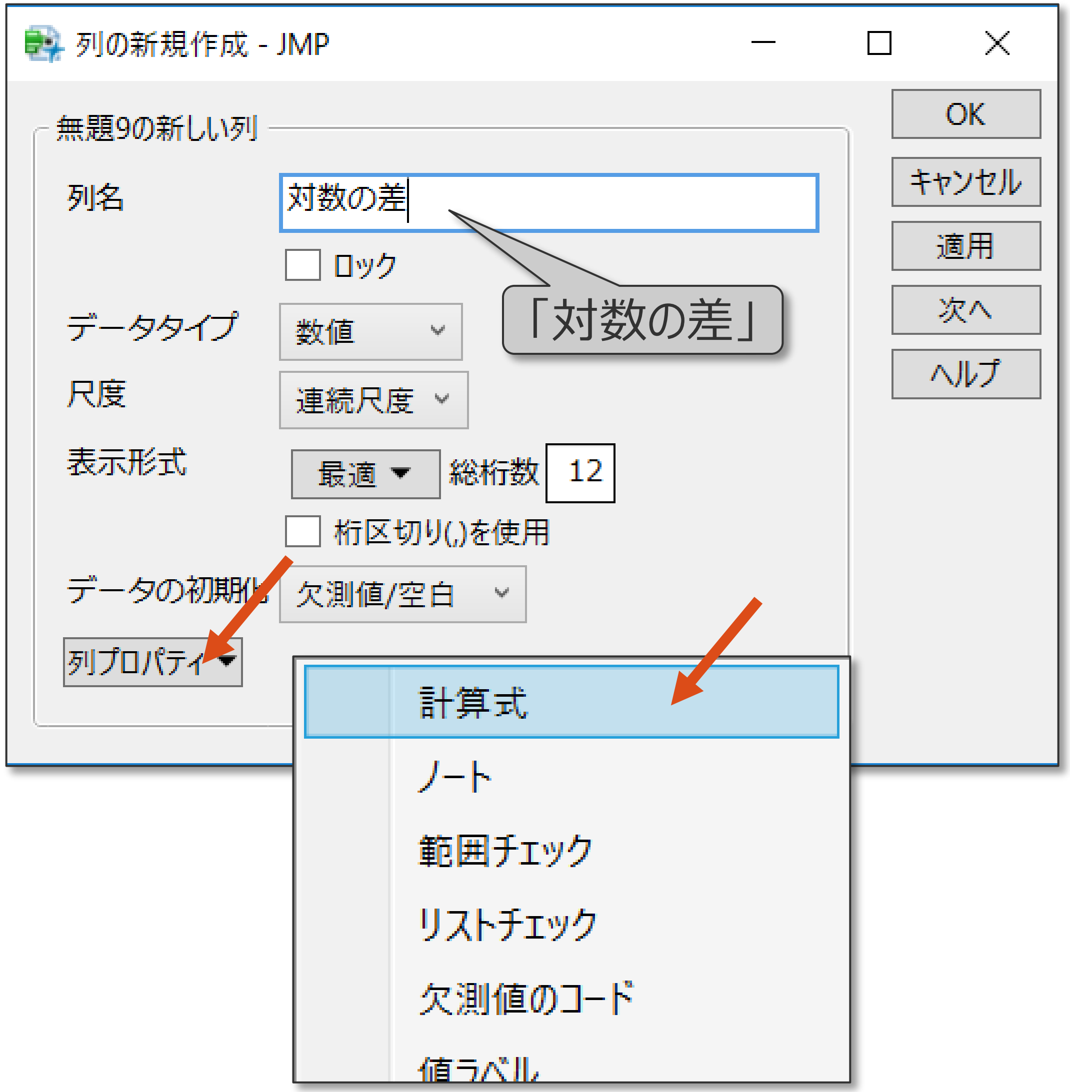
新規の列の上で右クリック

［列の新規作成...］＞ダイアログ

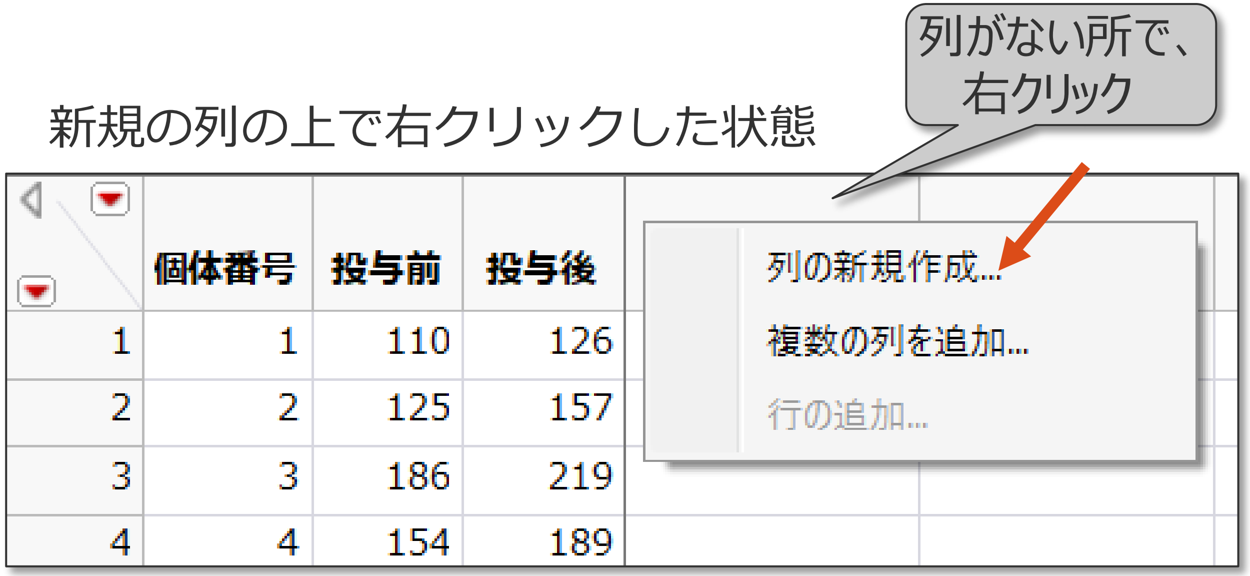
列名「対数の差」を入力

［列プロパティ］＞［計算式］

＞計算式の入力画面



新規の列の上で右クリックした状態

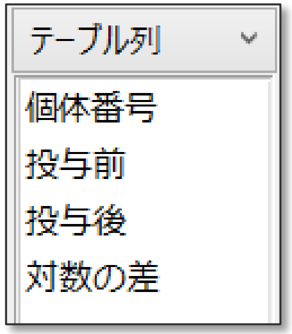


対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

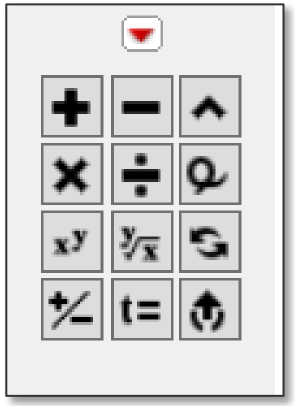
p.192

●列の追加と計算式の入力

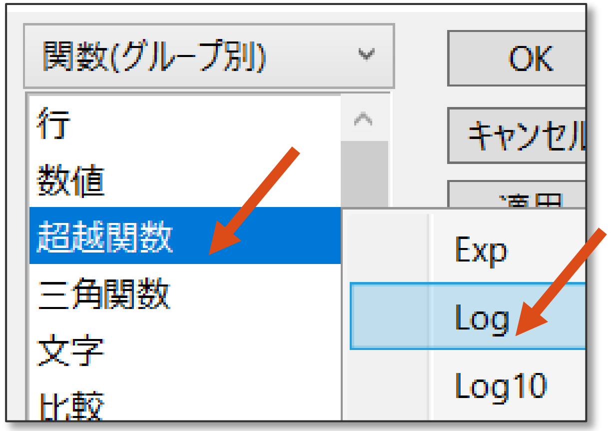
「対数の差」の列には、「ln(投与後) − ln(投与前)」の計算結果を表示させる



テーブル列から
変数を選択



演算子を選択
キーボードを
使わない



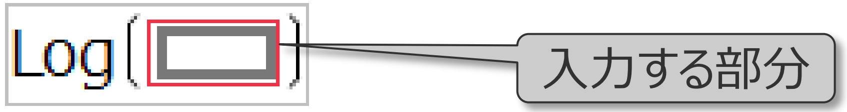
関数を選択
自然対数は「Log」
その他多くの関数がある

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

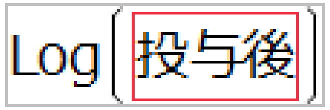
p.192

●列の追加と計算式の入力

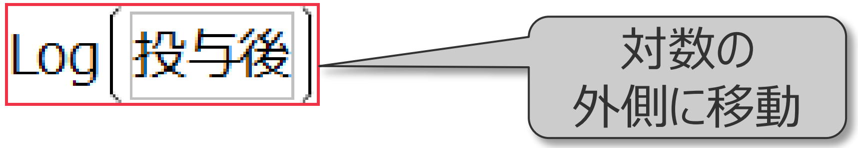
(1) ［関数］＞［超越関数］＞「Log」を選択



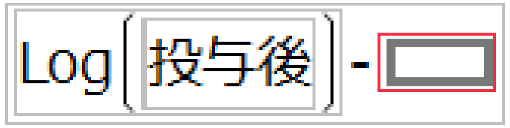
(2) ［テーブル列］＞「投与後」を選択



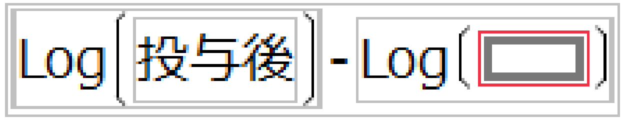
(3) 赤枠の位置を移動（カーソル、↑↓キー）



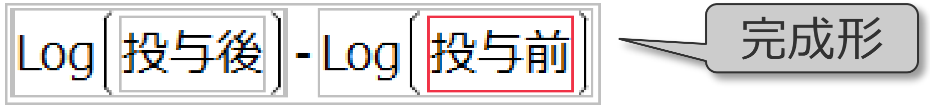
(4) ［演算子］＞「－」を選択



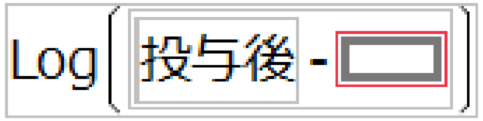
(5) ［関数］＞［超越関数］＞「Log」を選択



(6) ［テーブル列］＞「投与前」を選択



（注意）(3)の操作をしないと、下記のように
対数の中に「－」が入る
赤枠の位置を使いこなすことがポイント



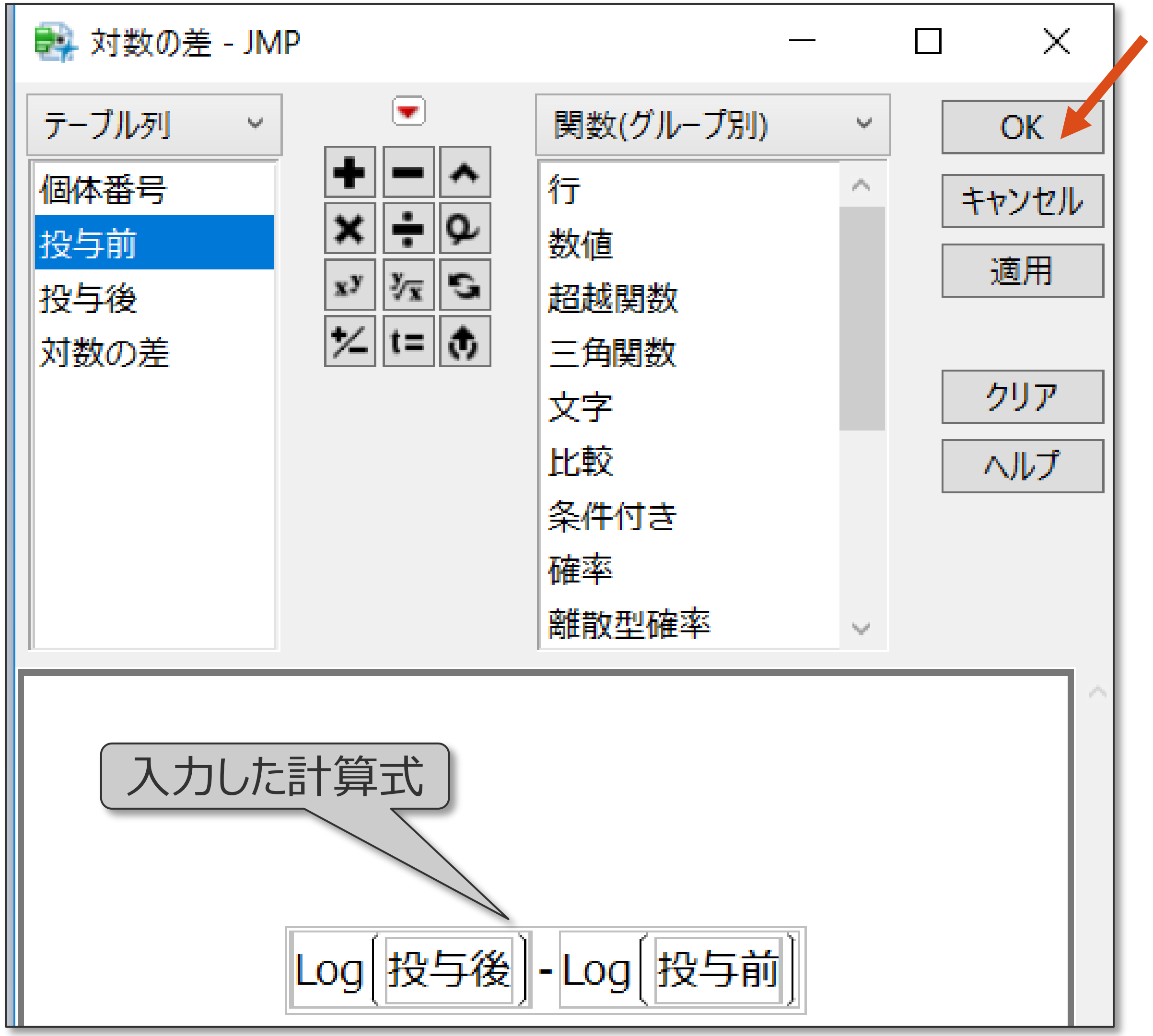
対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

●列の追加と計算式の入力

計算式が入力できたら、［OK］
新規の列が作成される

	個体番号	投与前	投与後	対数の差
1	1	110	126	0.1358015412
2	2	125	157	0.227932068
3	3	186	219	0.1633250561
4	4	154	189	0.2047944126



対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

●列の追加と計算式の入力

新規に列を作成

「差」：投与後－投与前

「後/前－１」：投与後／投与前－１

「前/後－１」：投与前／投与後－１

「対数の差」：ln(投与後)－ln(投与前)

（列の位置は関係しない）

表示 3.9.7 に相当する JMP のデータテーブル

	個体番号	投与前	投与後	差	後/前-1	前/後-1	対数の差
1	1	110	126	16	0.1454545	-0.1269841	0.13580154
2	2	125	157	32	0.256	-0.2038216	0.22793206
3	3	186	219	33	0.1774193	-0.1506849	0.16332505
4	4	154	189	35	0.2272727	-0.1851851	0.20479441
5	5	208	259	51	0.2451923	-0.1969111	0.21928998
6	6	137	154	17	0.1240875	-0.1103896	0.11697167
7	7	98	110	12	0.1224489	-0.1090909	0.11551288
8	8	180	230	50	0.2777777	-0.2173913	0.24512245

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- ［一変量の分布］による解析：投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較

  「差」、投与後－投与前

  「後/前－１」：投与後／投与前－１

  「前/後－１」：投与前／投与後－１

  「対数の差」：ln(投与後)－ln(投与前)

これらの平均が 0 であるか否かの検定

［一変量の分布］を利用（§ 2.6）

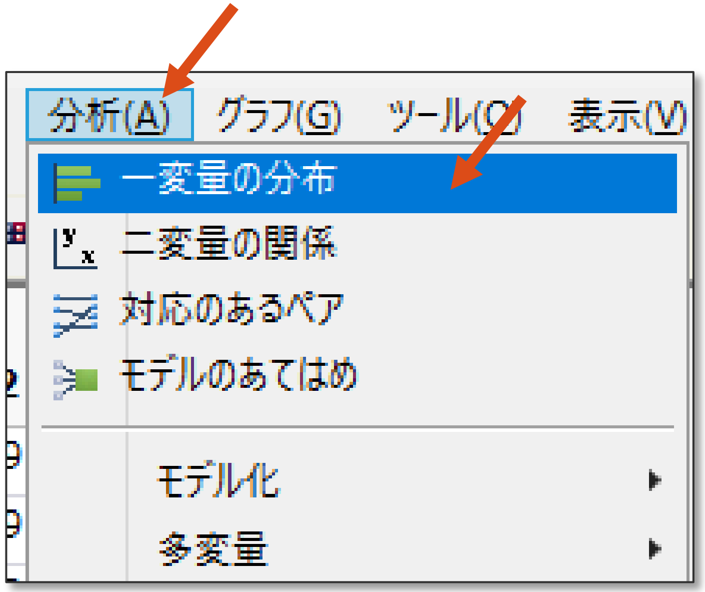
表示 3.9.7 に相当する JMP のデータテーブル

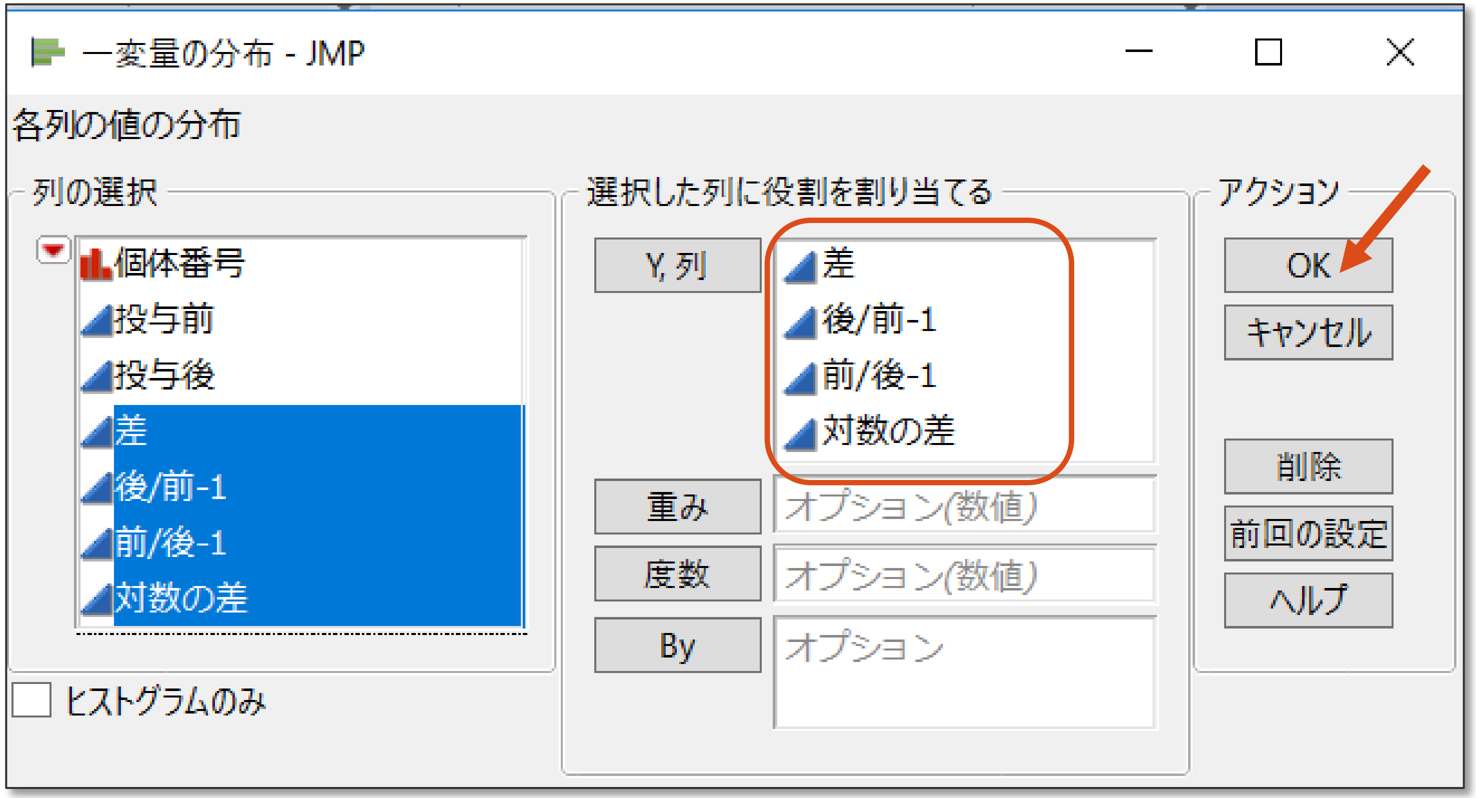
	個体番号	投与前	投与後	差	後/前-1	前/後-1	対数の差
1	1	110	126	16	0.1454545	-0.1269841	0.13580154
2	2	125	157	32	0.256	-0.2038216	0.22793206
3	3	186	219	33	0.1774193	-0.1506849	0.16332505
4	4	154	189	35	0.2272727	-0.1851851	0.20479441
5	5	208	259	51	0.2451923	-0.1969111	0.21928998
6	6	137	154	17	0.1240875	-0.1103896	0.11697167
7	7	98	110	12	0.1224489	-0.1090909	0.11551288
8	8	180	230	50	0.2777777	-0.2173913	0.24512245

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- ［一変量の分布］による解析：投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較
  ［分析］＞［一変量の分布］＞ダイアログボックス

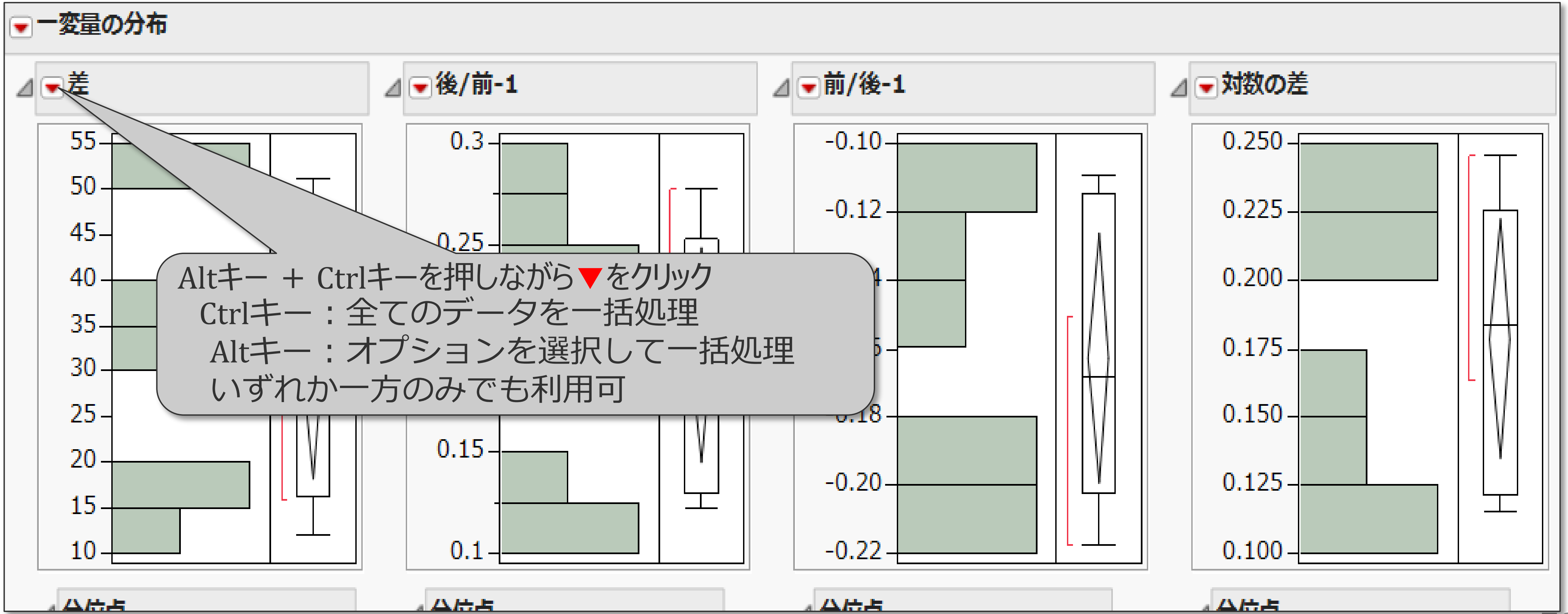




対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- ［一変量の分布］による解析：投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較
  基本統計量の計算と、帰無仮説 μ=0 の仮説検定



対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- ［一変量の分布］による解析：投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較

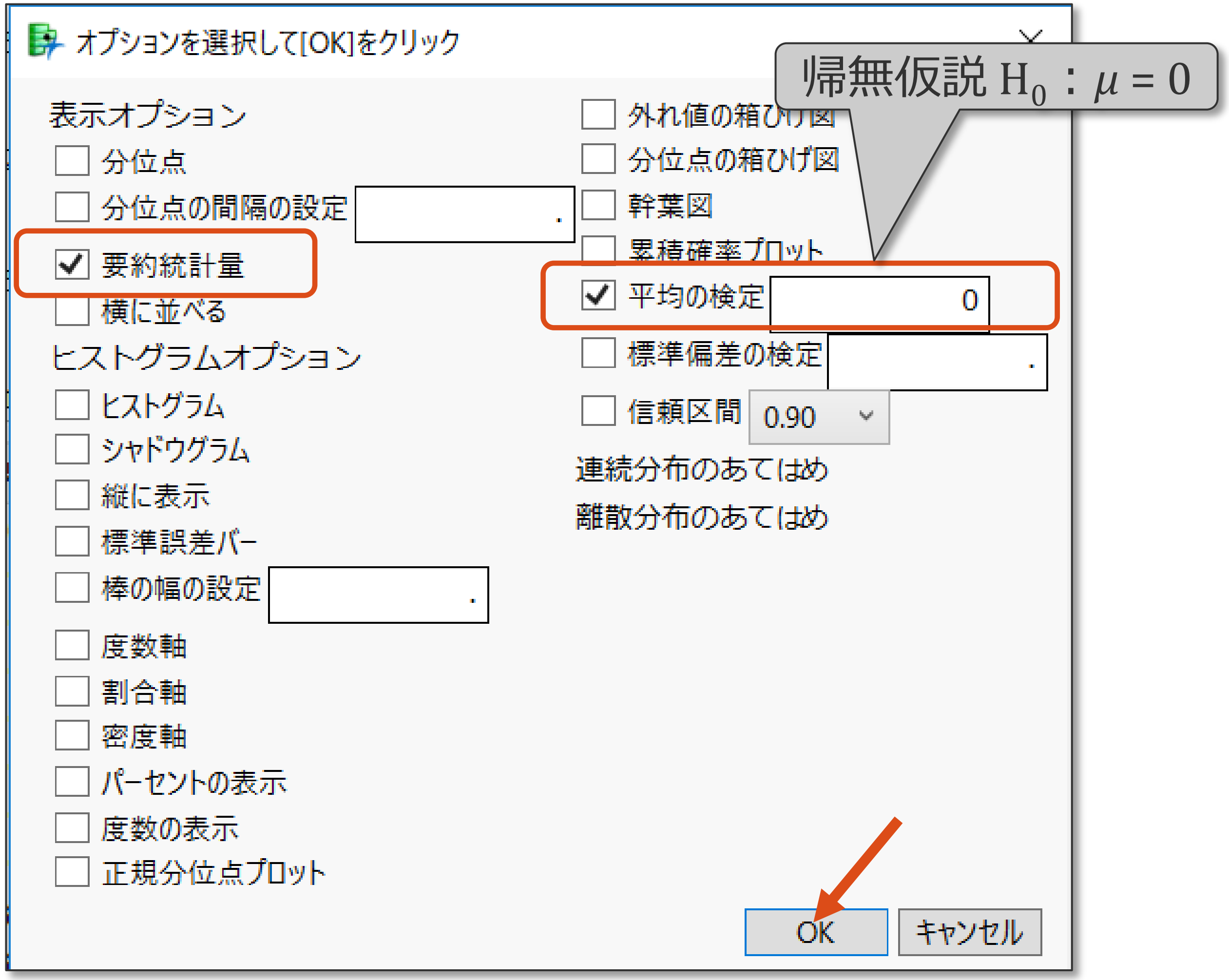
デフォルトのチェックを全て外す

以下の項目にチェックを入れる

□要約統計量

□平均の検定

帰無仮説の「0」を入力



対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- ［一変量の分布］による解析：投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較

表示 3.9.7 比と自然対数の差についての検定結果（JMPの出力）

	差	後/前-1	前/後-1	対数の差
要約統計量				
平均	30.75	0.1969567	-0.162557	0.1785938
標準偏差	14.945138	0.0622889	0.0437334	0.0521588
平均の標準誤差	5.2839041	0.0220225	0.0154621	0.0184409
平均の上側95%	43.244448	0.2490315	-0.125995	0.2221996
平均の下側95%	18.255552	0.1448818	-0.199119	0.1349879
N	8	8	8	8
平均の検定				
仮説値	0	0	0	0
実際の推定値	30.75	0.19696	-0.1626	0.17859
自由度	7	7	7	7
標準偏差	14.9451	0.06229	0.04373	0.05216
	t検定	t検定	t検定	t検定
検定統計量	5.8196	8.9434	-10.513	9.6846
p値(Prob > |t|)	0.0007*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
p値(Prob>t)	0.0003*	<.0001*	1.0000	<.0001*
p値(Prob<t)	0.9997	1.0000	<.0001*	1.0000

結果は有意

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- ［一変量の分布］による解析：投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較

「差」の解析結果

(投与後－投与前) = 30.75

この差 30.75 は有意　［18.3, 43.2］

(投与後－投与前) は一定 でなかったので、

この解析は不適当

「後/前－１」 の解析結果

投与後／投与前－１

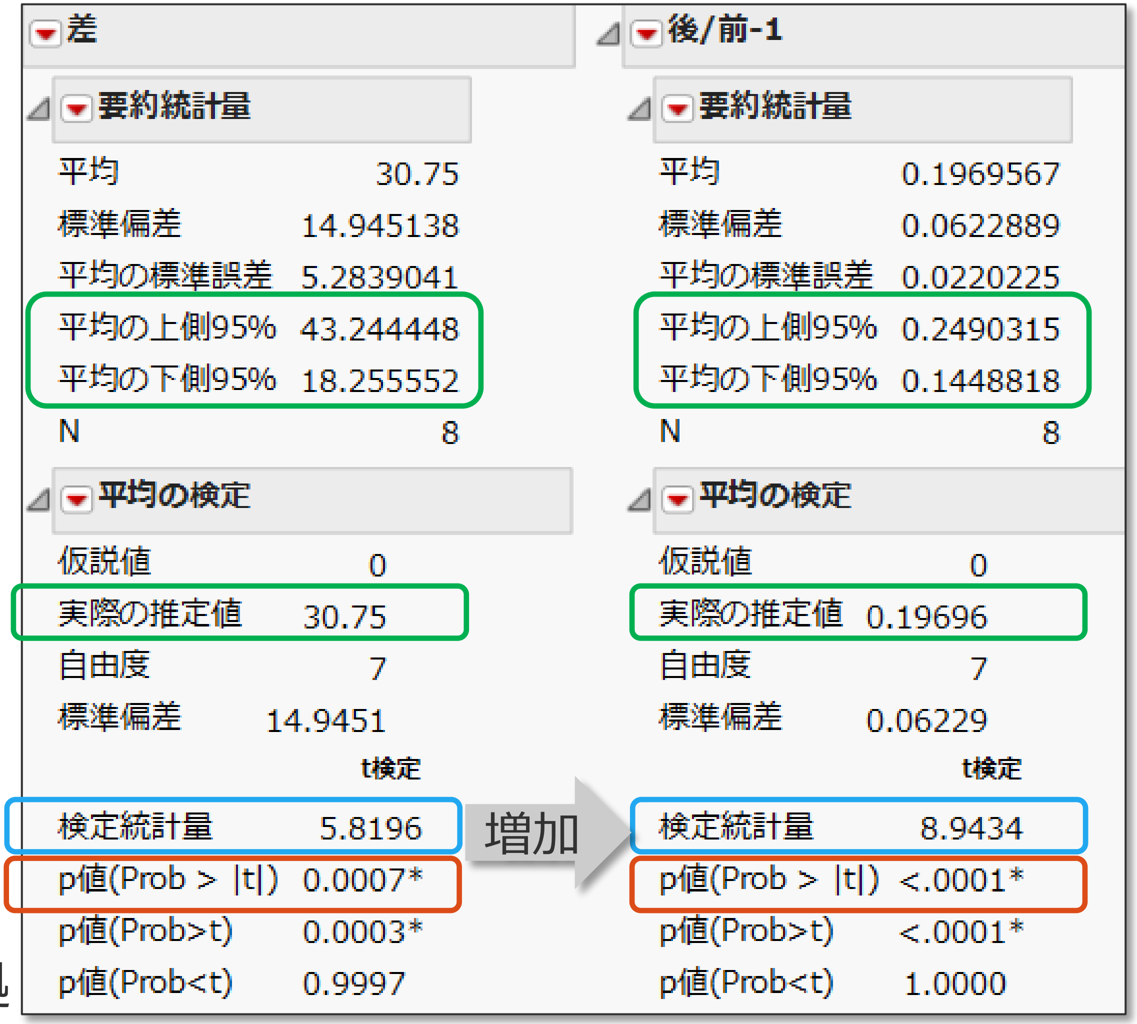
＝（投与後－投与前）／投与前 = 0.197

この値は 0 と有意差あり

投与により投与前の約 20% 増加

グラフから比率が一定であることを確認

t 値は「差」の 5.82 が 8.94 に増加、適切な証拠



差

要約統計量

平均	30.75
標準偏差	14.945138
平均の標準誤差	5.2839041
平均の上側95%	43.244448
平均の下側95%	18.255552
N	8

平均の検定

仮説値	0
実際の推定値	30.75
自由度	7
標準偏差	14.9451
	t検定
検定統計量	5.8196
p値(Prob > |t|)	0.0007*
p値(Prob>t)	0.0003*
p値(Prob<t)	0.9997

増加

後/前-1

要約統計量

平均	0.1969567
標準偏差	0.0622889
平均の標準誤差	0.0220225
平均の上側95%	0.2490315
平均の下側95%	0.1448818
N	8

平均の検定

仮説値	0
実際の推定値	0.19696
自由度	7
標準偏差	0.06229
	t検定
検定統計量	8.9434
p値(Prob > |t|)	<.0001*
p値(Prob>t)	<.0001*
p値(Prob<t)	1.0000

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- ［一変量の分布］による解析 ：投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較

(後/前－１) の解析結果

投与後／投与前－１

＝（投与後－投与前）／投与前

＝　0.197・・・有意　$|t| = 8.94$

投与により投与前の約 20% 増加

t 値が、差の 5.82 から 8.94 に増加

(前/後－１) の解析結果

投与前／投与後－１＝

＝（投与前－投与後）／投与後

＝－0.163・・・有意　$|t| = 10.5$

投与前は投与後より16%低い

この例では、(後／前－1) の比を取る方が自然

後/前-1

要約統計量

平均	0.1969567
標準偏差	0.0622889
平均の標準誤差	0.0220225
平均の上側95%	0.2490315
平均の下側95%	0.1448818
N	8

平均の検定

仮説値	0
実際の推定値	0.19696
自由度	7
標準偏差	0.06229

	t検定
検定統計量	8.9434
p値(Prob > |t|)	<.0001*
p値(Prob>t)	<.0001*
p値(Prob<t)	1.0000

前/後-1

要約統計量

平均	-0.162557
標準偏差	0.0437334
平均の標準誤差	0.0154621
平均の上側95%	-0.125995
平均の下側95%	-0.199119
N	8

平均の検定

仮説値	0
実際の推定値	-0.1626
自由度	7
標準偏差	0.04373

	t検定
検定統計量	-10.513
p値(Prob > |t|)	<.0001*
p値(Prob>t)	1.0000
p値(Prob<t)	<.0001*

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.192

- ［一変量の分布］による解析：投与前後の「差」、「比」、「対数の差」の比較

比が評価の基準

↓

自然対数の差の解析

この平均値は0.179

２つの比の増減の

絶対値の平均に近い値

(0.197 ＋ 0.163)/2

= 0.180

↓

対数変換値のグラフ

	後/前-1	前/後-1	対数の差
要約統計量			
平均	0.1969567	-0.162557	0.1785938
標準偏差	0.0622889	0.0437334	0.0521588
平均の標準誤差	0.0220225	0.0154621	0.0184409
平均の上側95%	0.2490315	-0.125995	0.2221996
平均の下側95%	0.1448818	-0.199119	0.1349879
N	8	8	8
平均の検定			
仮説値	0	0	0
実際の推定値	0.19696	-0.1626	0.17859
自由度	7	7	7
標準偏差	0.06229	0.04373	0.05216
	t検定	t検定	t検定
検定統計量	8.9434	-10.513	9.6846
p値(Prob > |t|)	<.0001*	<.0001*	<.0001*
p値(Prob>t)	<.0001*	1.0000	<.0001*
p値(Prob<t)	1.0000	<.0001*	1.0000

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

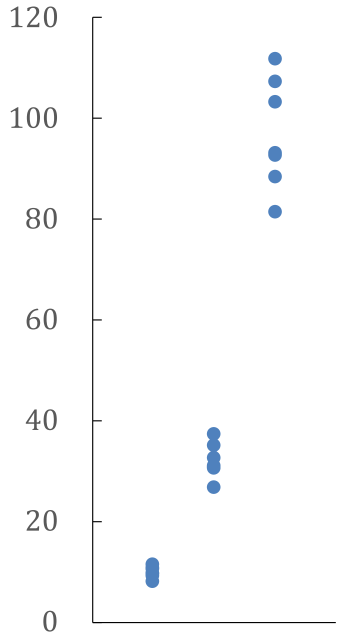
p.193

●対数変換したデータの解析

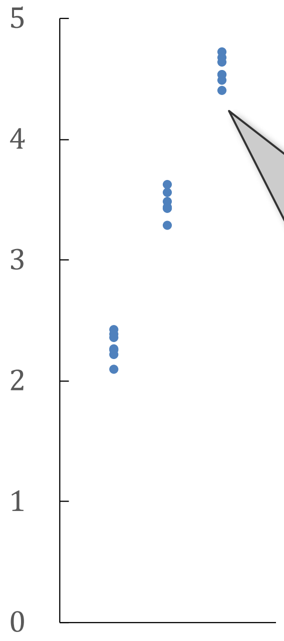
比が評価の基準の場合、対数変換すると安定化（§ 2.3）

対応のあるデータを、実目盛と対数目盛でプロットして比較する

対数変換前

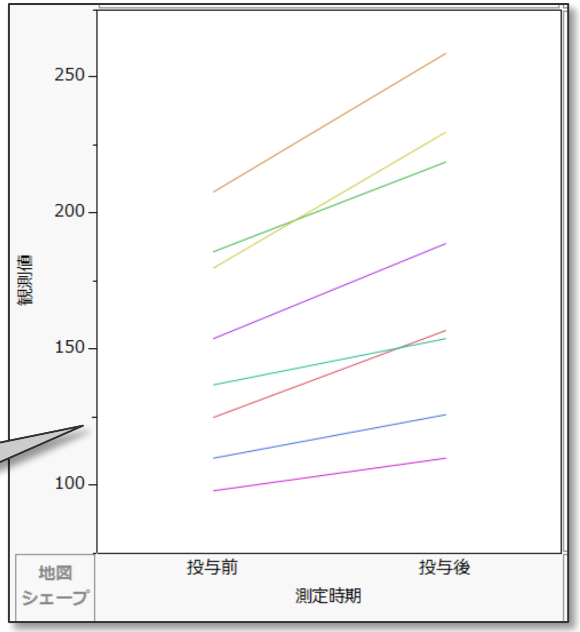


対数変換後



変動係数が一定（平均と標準偏差が比例関係）のデータを対数変換すると、ばらつきが均一化
（§ 2.3 対数変換と対数正規分布 ）

対応のあるデータのグラフ



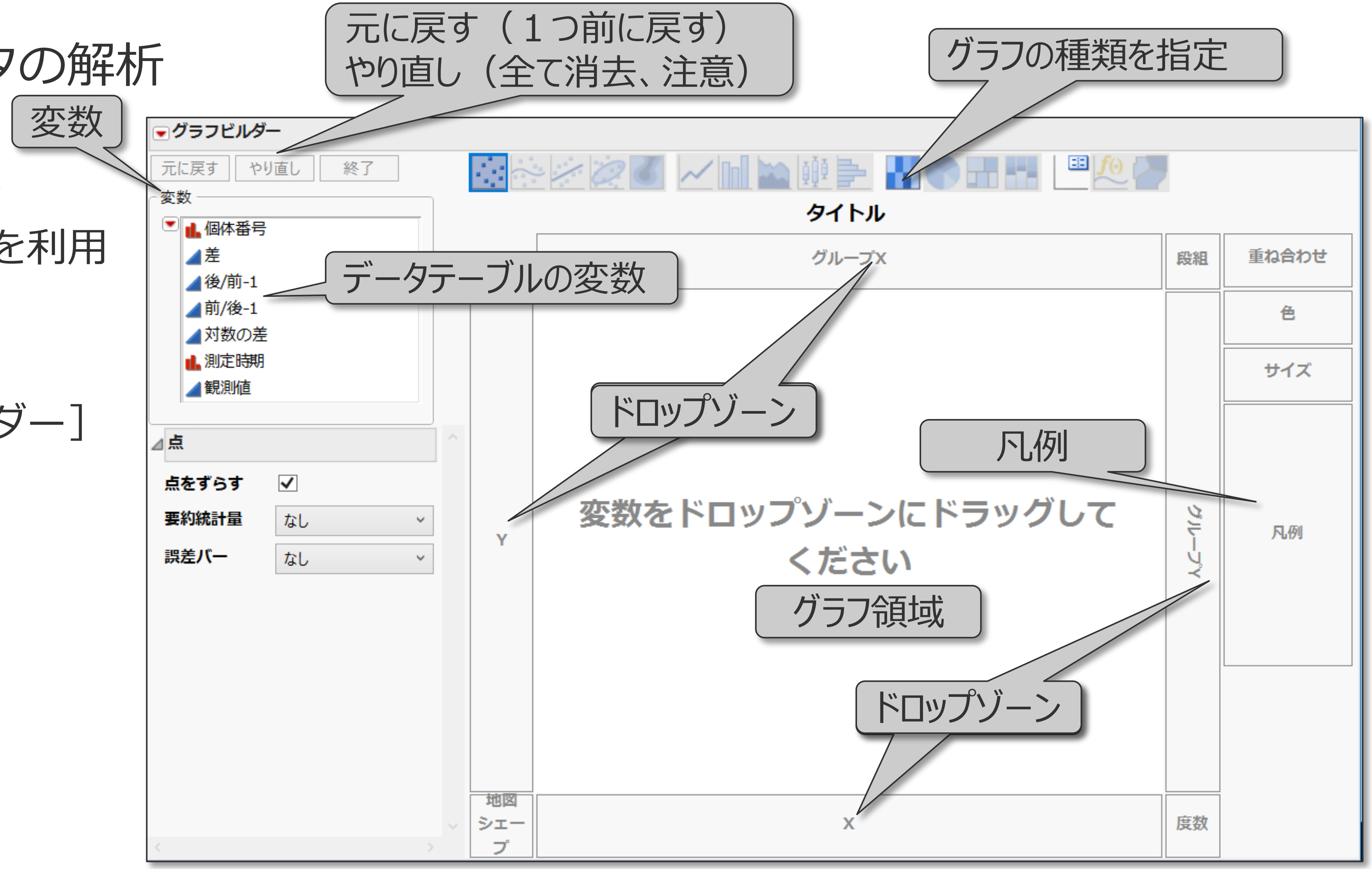
実目盛（元データ）と
対数目盛（対数変換値）で比較

対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

- 対数変換したデータの解析

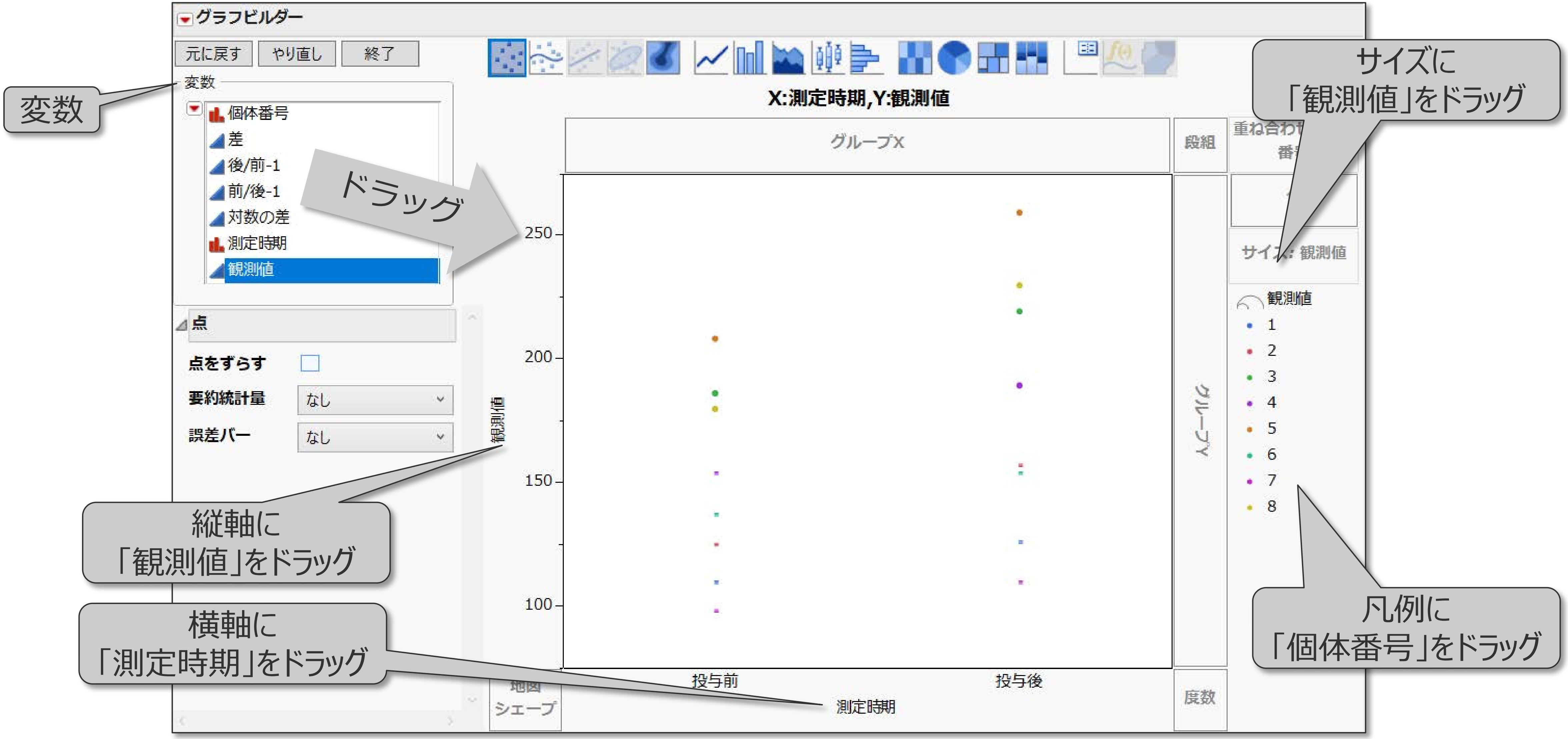
「演習3-5-2縦.jmp」の
データテーブルを利用

［グラフ］
＞［グラフビルダー］
＞ 設定画面



対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.193

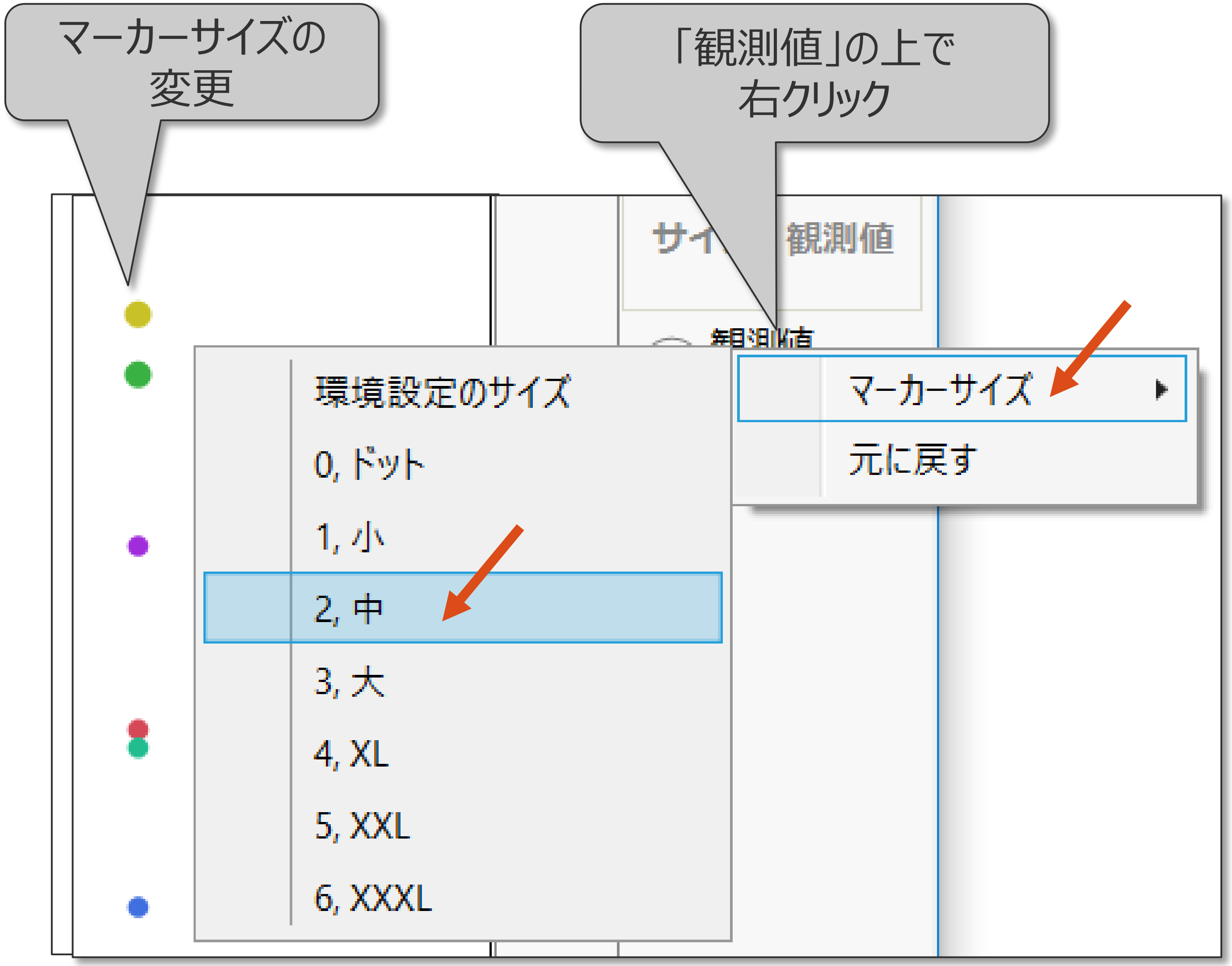


対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.193

●対数変換したデータの解析

マーカーサイズの変更

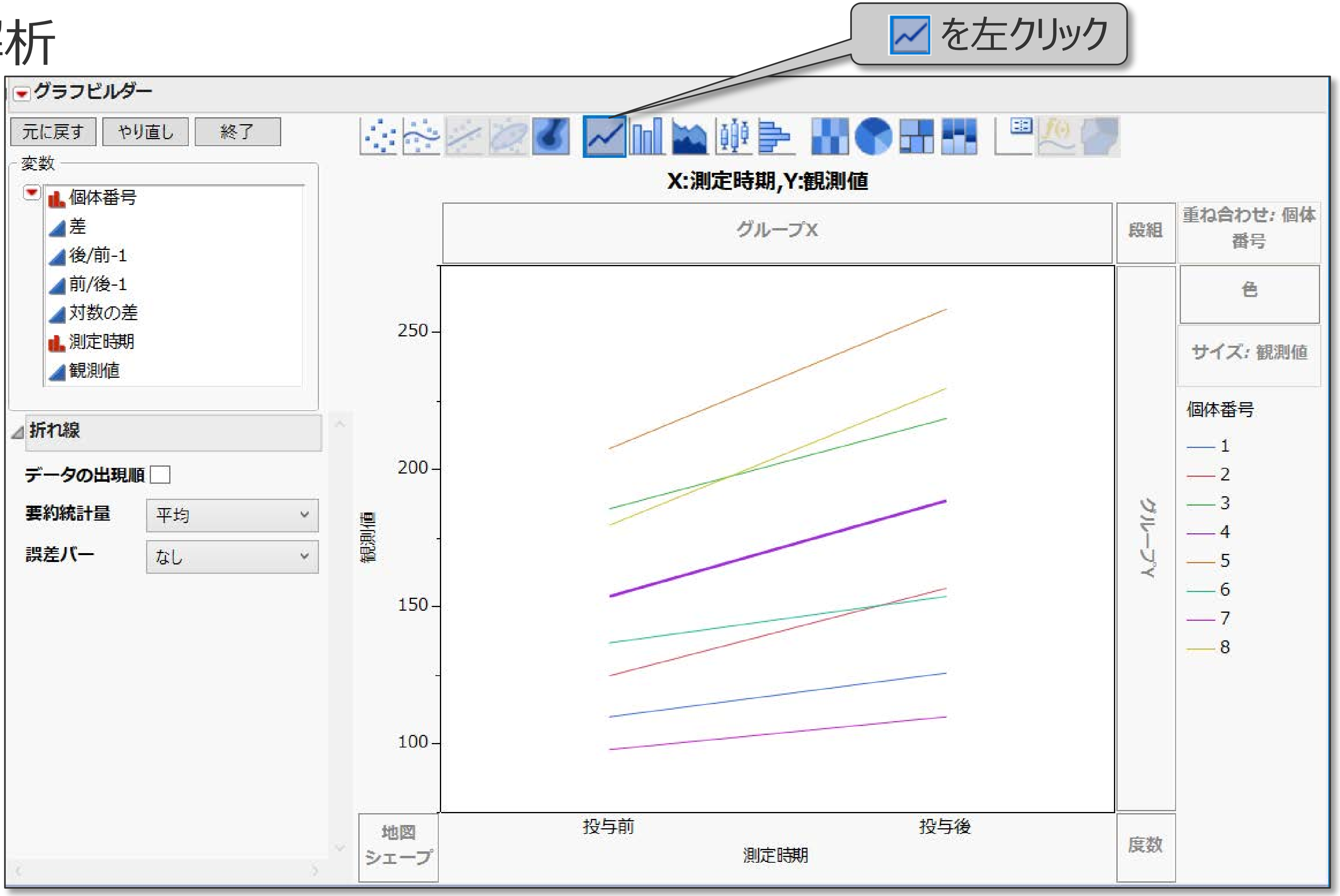


対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.193

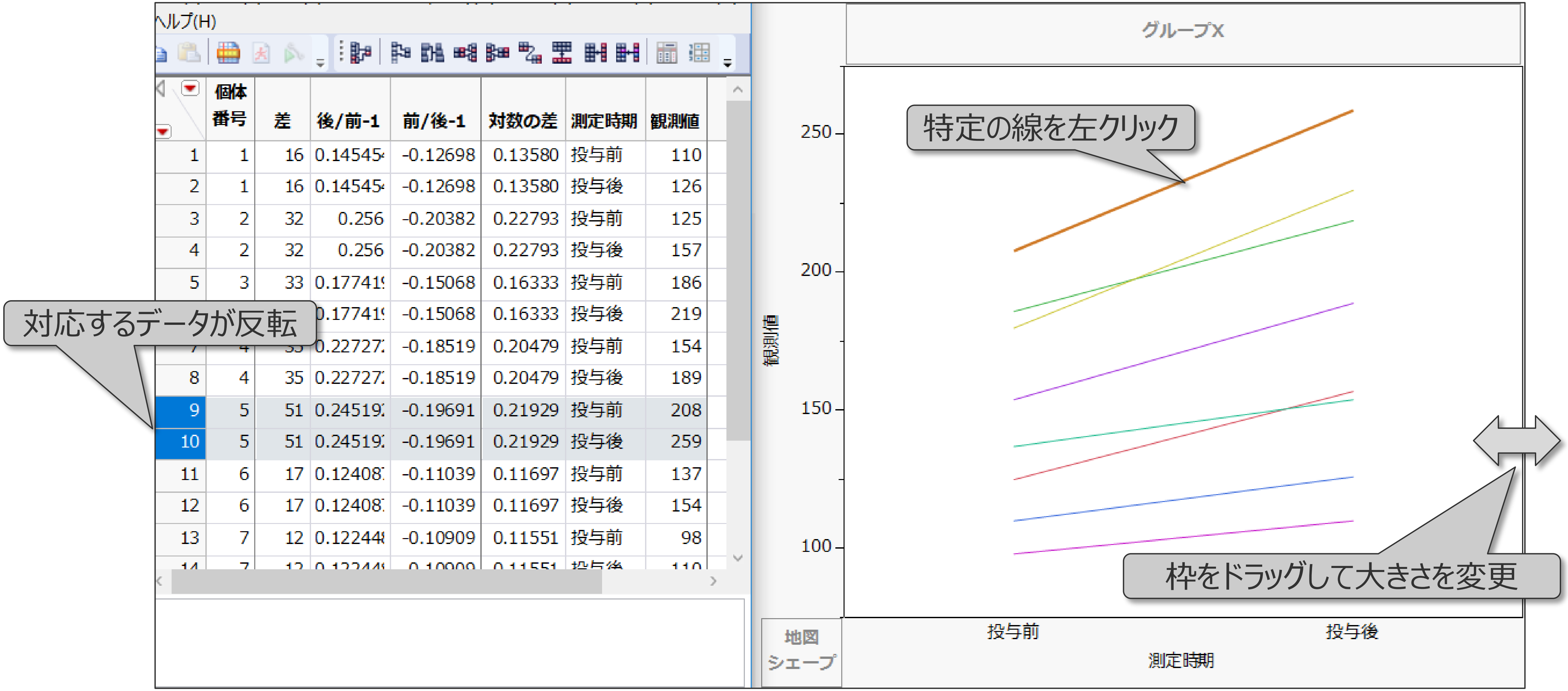
●対数変換したデータの解析

それぞれの対応を線で結ぶ



対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.193



	個体番号	差	後/前-1	前/後-1	対数の差	測定時期	観測値
1	1	16	0.14545	-0.12698	0.13580	投与前	110
2	1	16	0.14545	-0.12698	0.13580	投与後	126
3	2	32	0.256	-0.20382	0.22793	投与前	125
4	2	32	0.256	-0.20382	0.22793	投与後	157
5	3	33	0.17741	-0.15068	0.16333	投与前	186
			0.17741	-0.15068	0.16333	投与後	219
7	4	35	0.22727	-0.18519	0.20479	投与前	154
8	4	35	0.22727	-0.18519	0.20479	投与後	189
9	5	51	0.24519	-0.19691	0.21929	投与前	208
10	5	51	0.24519	-0.19691	0.21929	投与後	259
11	6	17	0.12408	-0.11039	0.11697	投与前	137
12	6	17	0.12408	-0.11039	0.11697	投与後	154
13	7	12	0.12244	-0.10909	0.11551	投与前	98

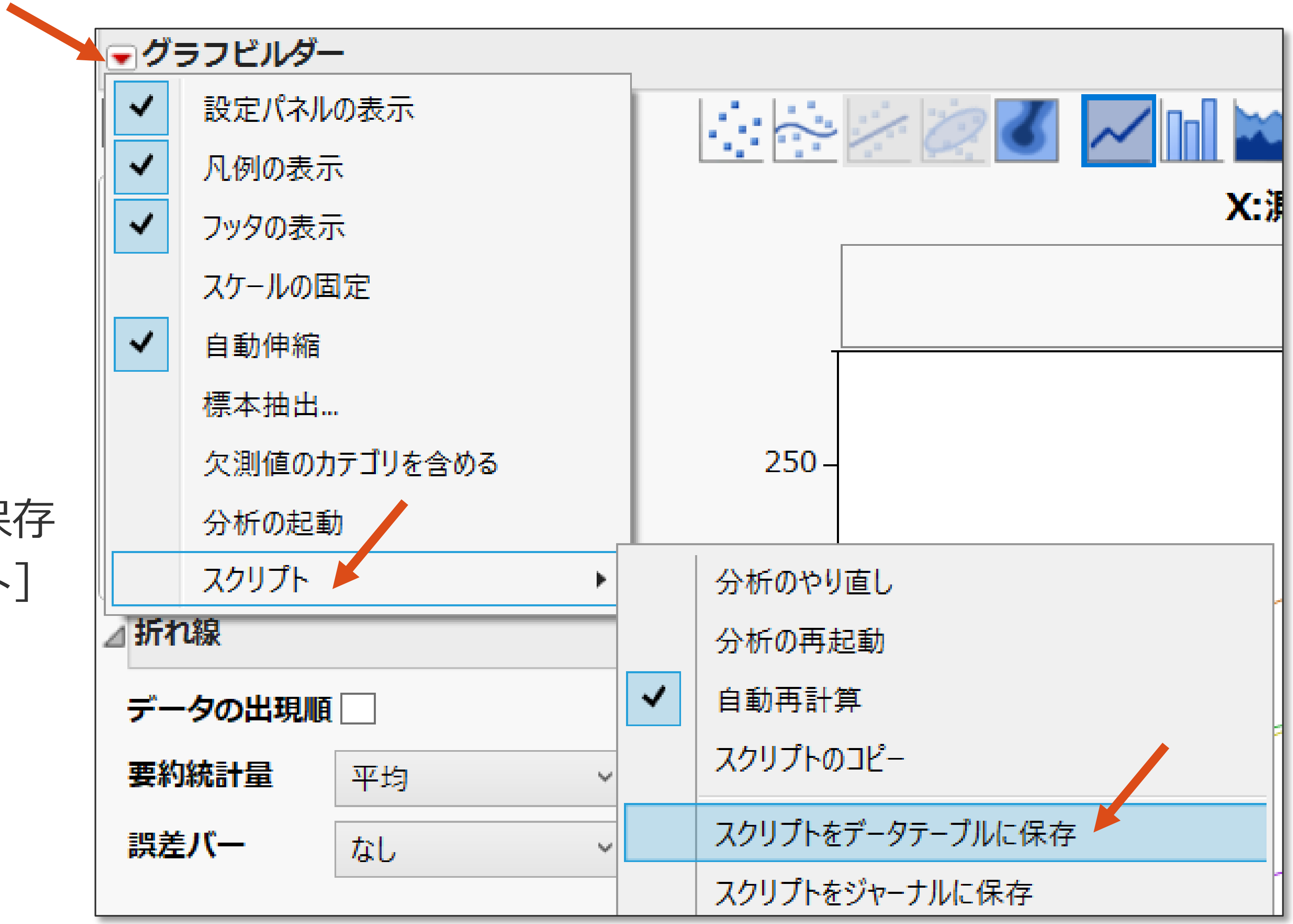
対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.193

●対数変換したデータの解析

同じグラフを２つ描き、
１つは縦軸を実目盛に設定
１つは縦軸を対数目盛に設定
並べて比較したい

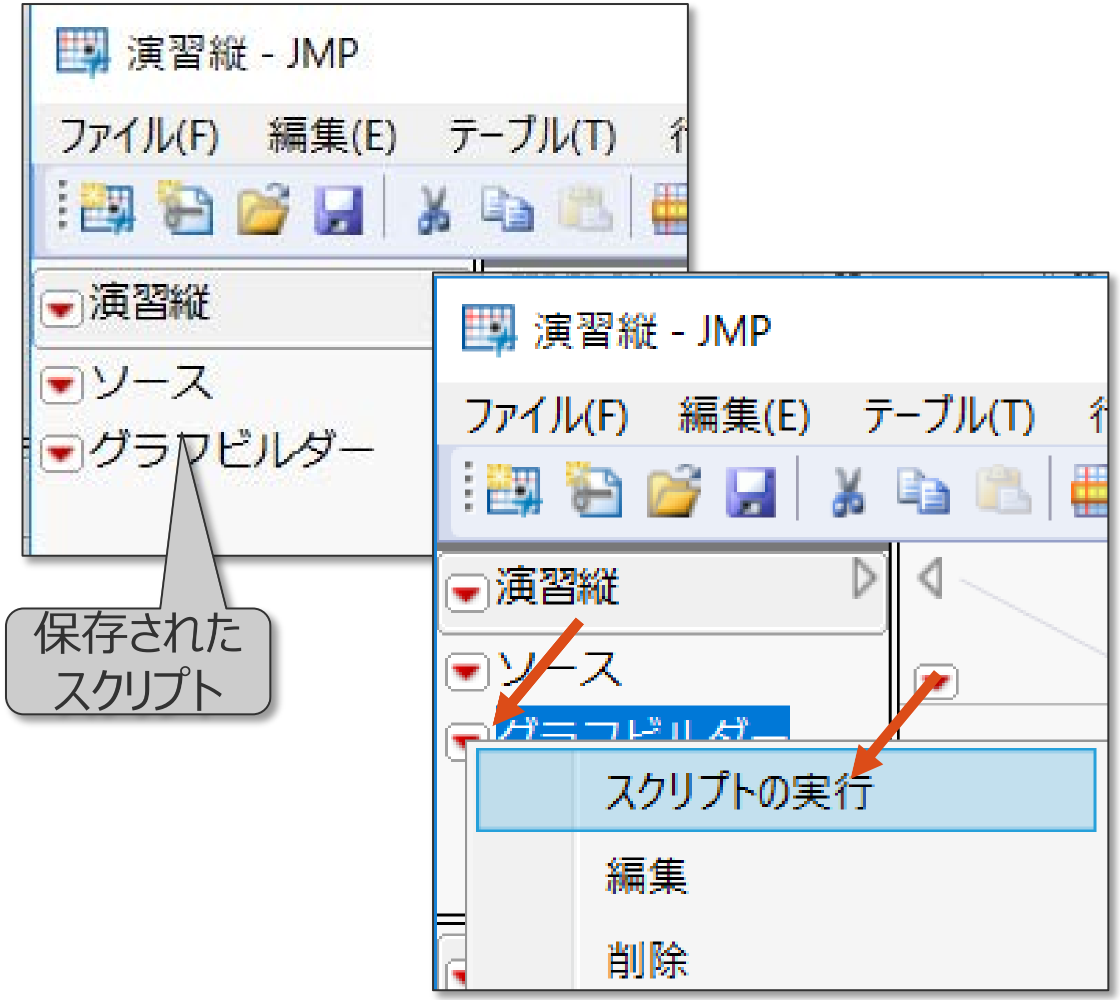
グラフを描いたスクリプトを保存
▼オプション＞［スクリプト］
＞［スクリプトを
データテーブルに保存］

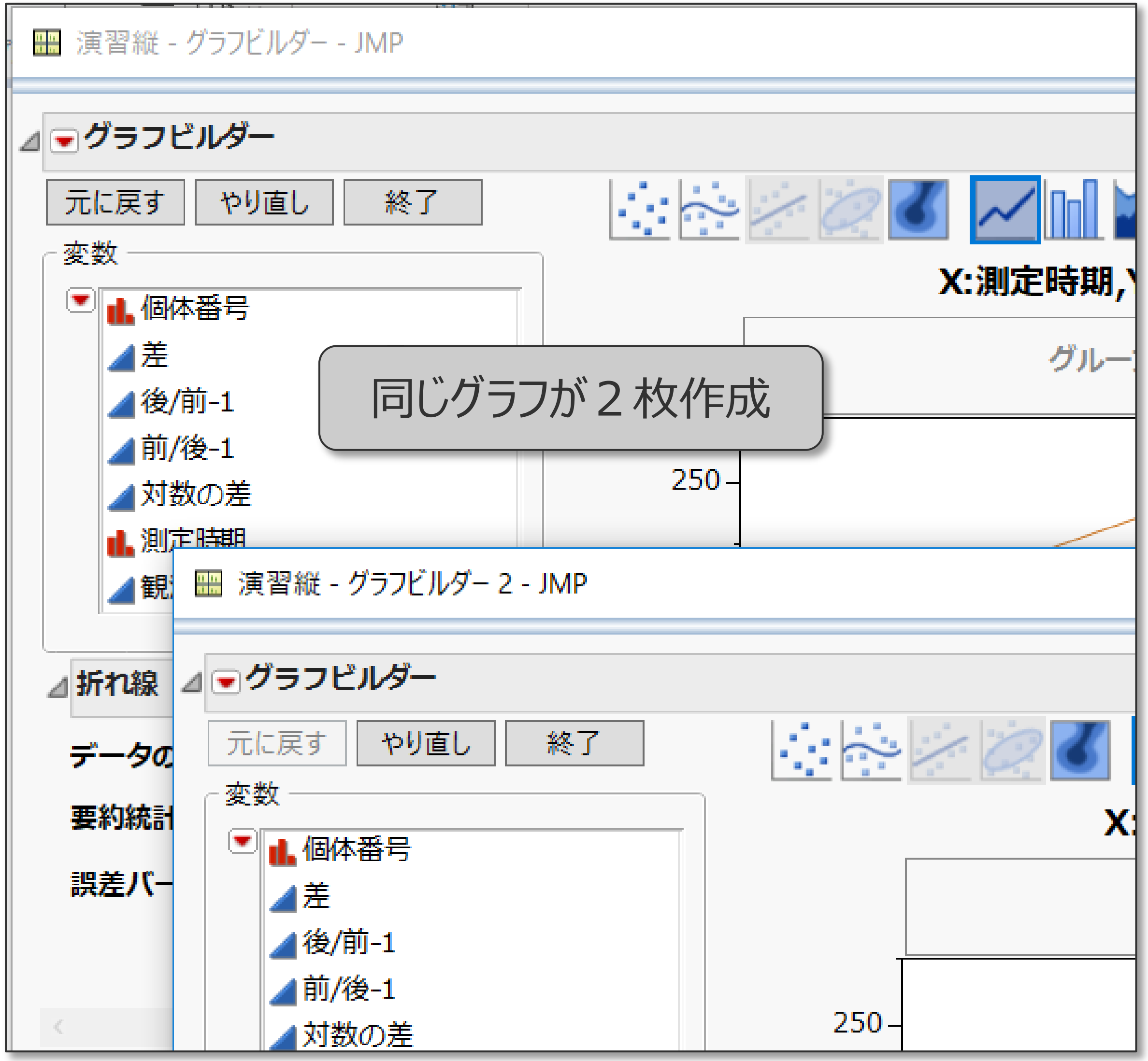


対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.193

●対数変換したデータの解析





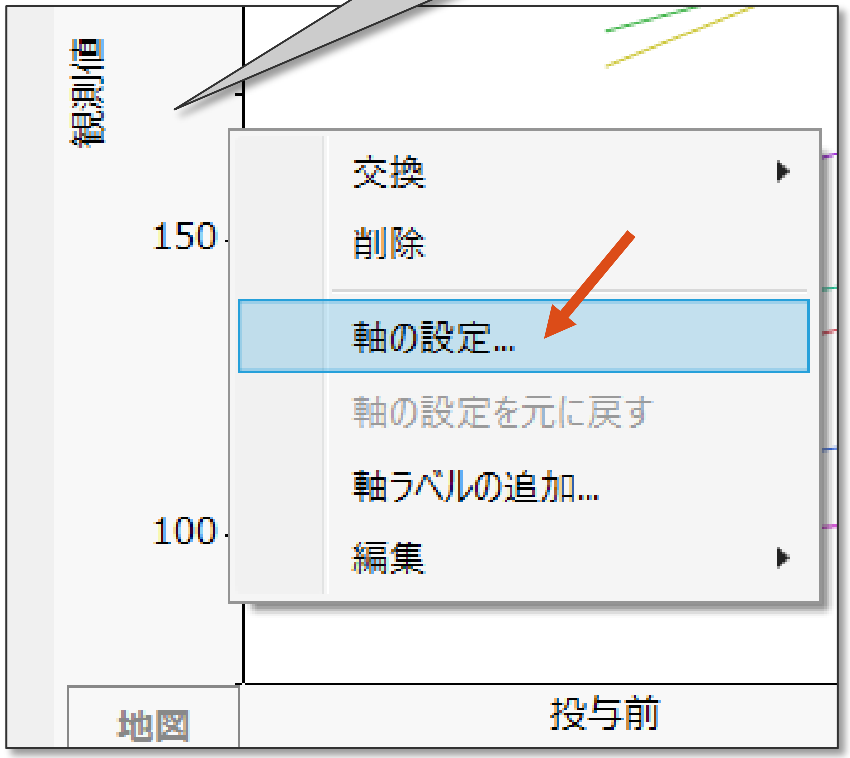
対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

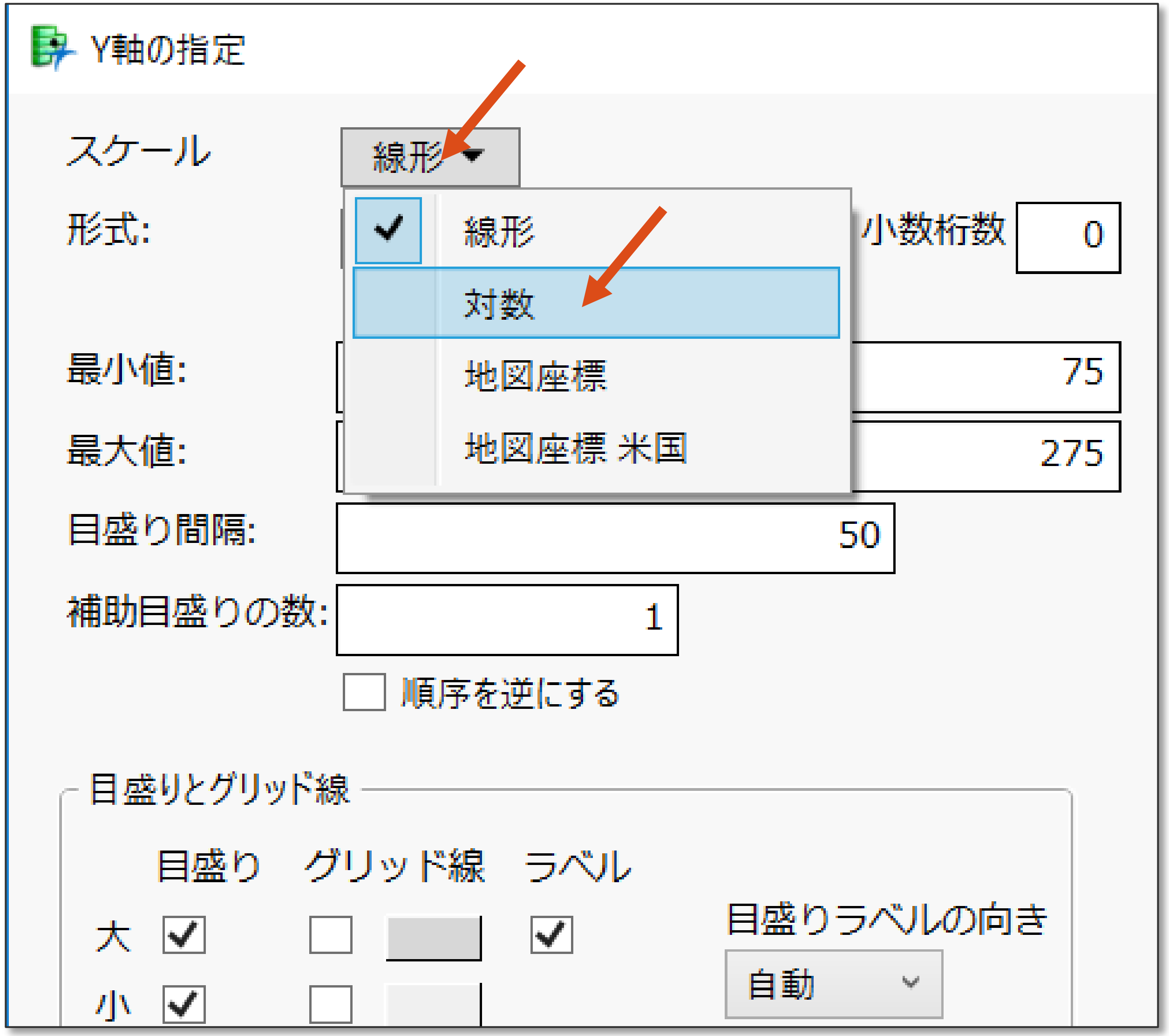
p.193

●対数変換したデータの解析

一方のグラフを対数目盛に変換

縦軸の上で右クリック





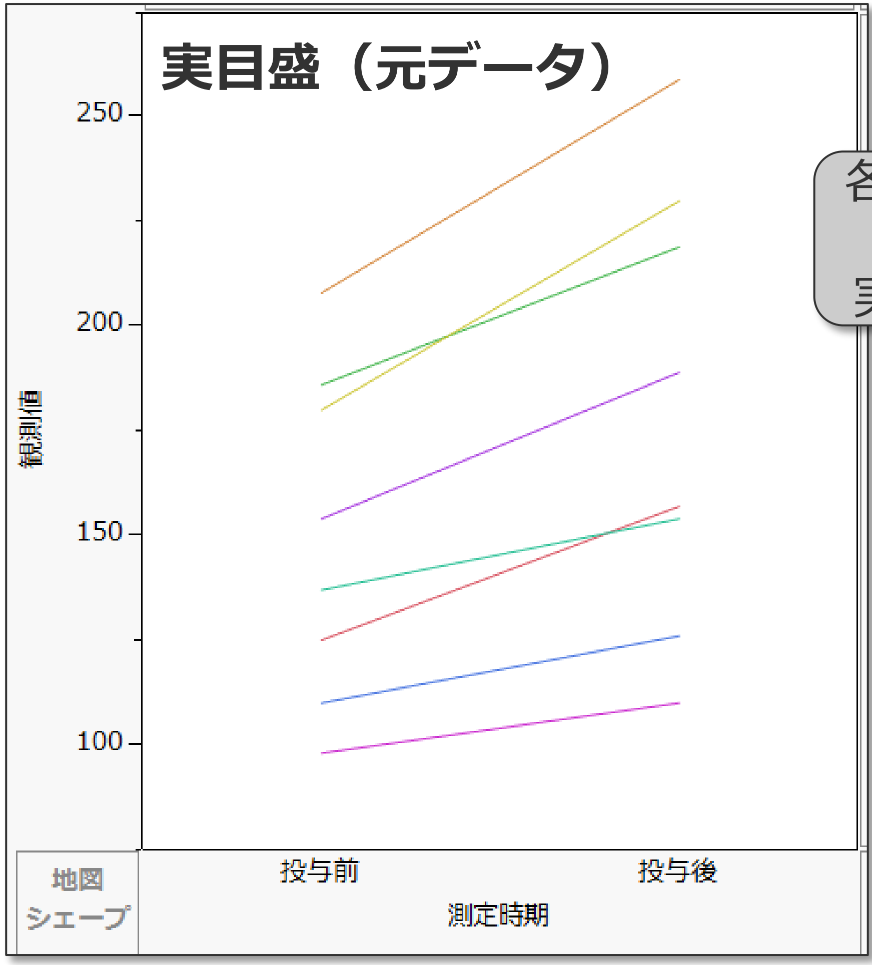
対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.193

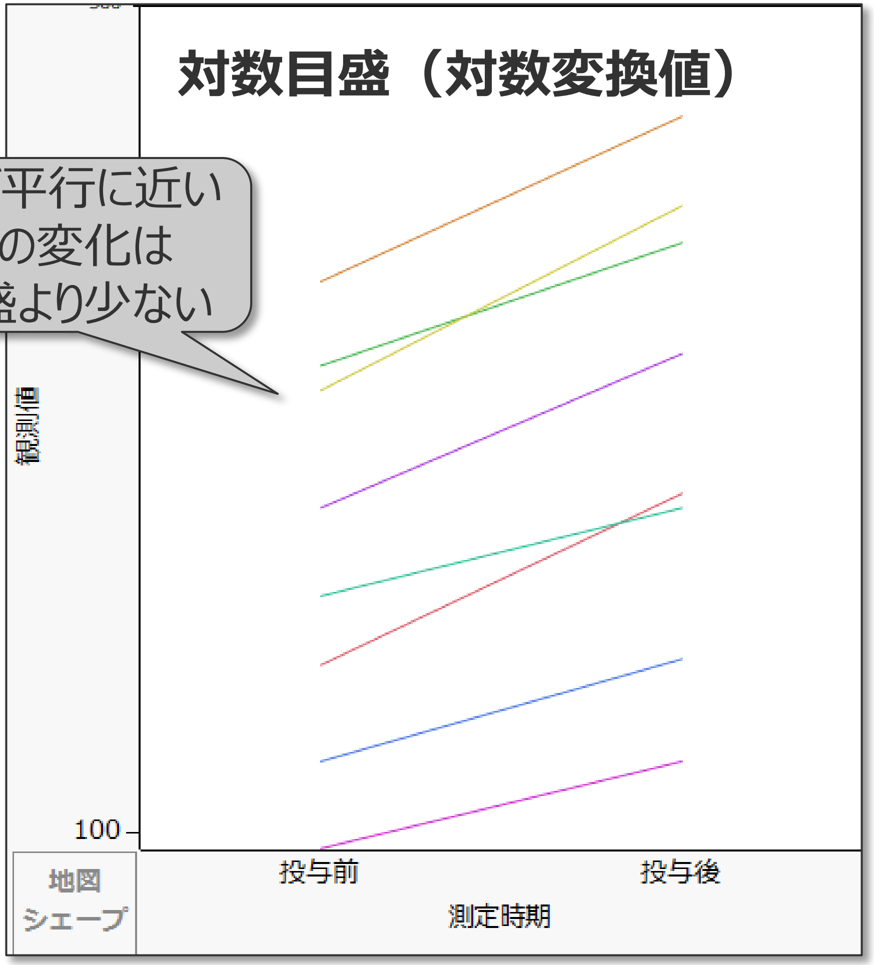
●対数変換したデータの解析

差よりも比が安定
↓
対数変換して
解析することが有用

表示 3.9.8　実目盛と対数目盛のグラフ



各線が平行に近い
傾きの変化は
実目盛より少ない



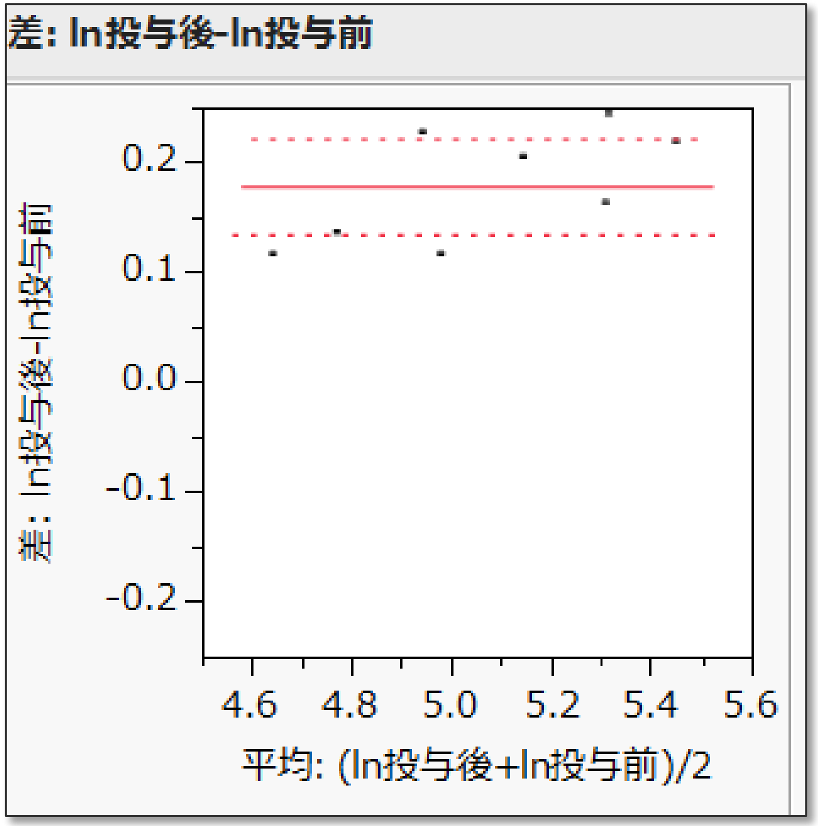
対応のあるデータの解析例：演習 3.5.2

p.193

●対数変換したデータの解析

「演習3-5-2横」のデータテーブルで、「投与前」と「投与後」を対数変換した列を新設

［対応のあるペア］で解析



対数変換前は 5.82

ln投与後	5.15696	t値	9.684646
ln投与前	4.97837	自由度	7
差の平均	0.17859	p値(Prob>|t|)	<.0001*
標準誤差	0.01844	p値(Prob>t)	<.0001*
上側95%	0.2222	p値(Prob<t)	1.0000
下側95%	0.13499		
N	8		
相関	0.99058		

この事例は説明用
n が大きくないと
はっきりした結論を
得ることは困難

まとめ

p.156

● データの対応

対応のあるデータの意味を理解する
データに対応がある場合、それを考慮しないと正しい解説ができない
個体差が誤差に含まれないため、検出力が高くなる

● 対応のあるデータの解析方法

対応を考慮して解析する

２組のデータ・・・・・対応のある t 検定
３組以上のデータ・・・乱塊法（第２部）

- 作成　　片瀬雅彦
- 監修　　松本一彦、長谷文雄
- 作成時期　　2018年12月19日
- 改訂　　2019年4 月10日、2024年12月8日