0 はじめに

テキスト

芳賀敏郎（2014）医薬品開発のための統計解析
第２部　実験計画法　改訂版、サイエンティスト社、p.294

0 はじめに

p.1

テキストの
該当ページ

0.1 統計解析用ソフトウェア（第 1 部 §0）

0.2 学び方（第 1 部 §0）

0.3 実験計画法とは

0.4 実験データの表現

0.5 Fisher の 3 原則

0.6 実験開始にあたって

0.7 実験誤差の適切な選び方

使用するファイル

Excel ファイル：「DE改0-はじめに.xlms」

★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

0.3 実験計画法とは

調査と実験

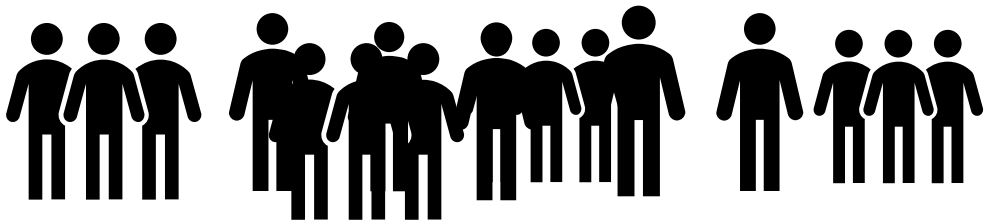
●調査

身長と体重の関係が、年齢階層でどのように違うか検討（第1 部 §4.1「層別散布図」p.201）

40人を年齢によって３つに組分けして、身長と体重の関係を解析（層別分析）

データを得てから事後に、３組に分けた（あらかじめ年齢階層ごとに人数を決めてはいない）

３組のデータが得られる　→　調査データ



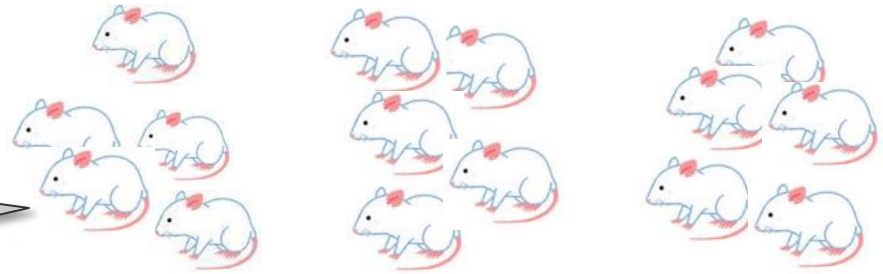
●実験

15 匹の実験動物を３群に分けて、　薬剤の量を３段階（無投与、低用量、高用量）で投与

薬剤の投与量によって薬効がどのように変化するのか解析

計画的に３組に分けて投与してからデータを得ている

３組のデータが得られる　→　実験データ



調査と実験

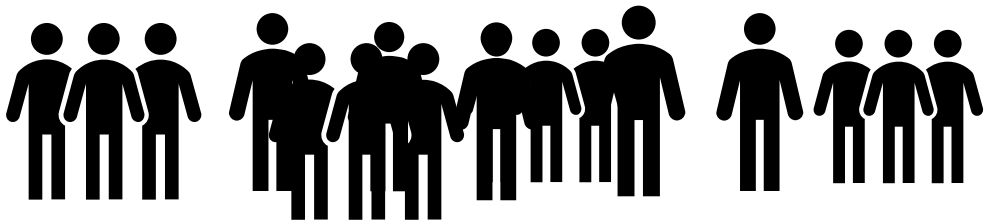
●調査

身長と体重の関係が、年齢階層でどのように違うか検討（第1 部 §4.1「層別散布図」p.201）

40人を年齢によって３つに組分けして、身長と体重の関係を解析（層別分析）

データを得てから事後に、３組に分けた（あらかじめ年齢階層ごとに人数を決めてはいない）

３組のデータが得られる　→　調査データ



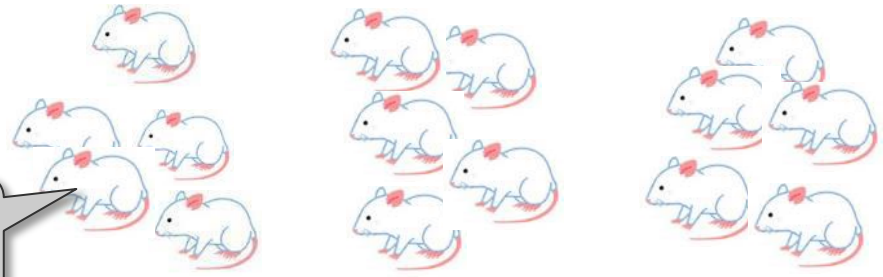
●実験

15 匹の実験動物を３群に分けて、　薬剤の量を３段階（無投与、低用量、高用量）で投与

薬剤の投与量によって薬効がどのように変化するのか解析

計画的に３組に分けて投与してからデータを得ている

３組のデータが得られる　→　実験データ



実験をどのように計画するか、データをどのように解析するか、
教えてくれるのが**実験計画法**

実験と因子

●因子

因子：薬の種類や投与量を変えて実験するとき、変化させる条件を因子という

質的因子：薬剤の種類、実験動物の雌雄など
量的因子：薬剤の投与量など

質的因子と量的因子では、解析方法がかなり異なる
（第１部 §1.5 「モデル」p.40）

１因子実験：１つの因子を変える実験
２因子実験：２つの因子を組み合わせて行う実験
多因子実験：因子の数が３以上の実験

１因子実験の例

薬剤		
A	B	C
21.3	27.5	42.1
26.5	29.9	36.9
30.2	32.2	56.9

２因子実験の例

雌雄	薬剤		
	A	B	C
雌	21.3	27.5	42.1
	26.5	29.9	36.9
	30.2	32.2	56.9
雄	29.0	35.6	40.1
	31.5	34.9	41.9
	22.2	20.3	54.5

0.4 実験データの表現

1 因子実験の事例

実験データの表現

- 1 因子実験の事例

  a 種類の薬剤 A_1、A_2、・・・、A_a の薬効を比較する
  総数 N 匹の実験動物を用いて、n 匹ずつ a 群に分ける（$N = an$）
  各群にそれぞれ異なる薬剤を投与して結果を観察
  観察項目：血液成分、体重など
  データを一般化して表示

水準	繰り返し						平均
	1	2	・・・	j	・・・	n	
A_1	y_{11}	y_{12}	・・・	y_{1j}	・・・	y_{1n}	$\bar{y}_{1\cdot}$
A_2	y_{21}	y_{22}	・・・	y_{2j}	・・・	y_{2n}	$\bar{y}_{2\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_i	y_{i1}	y_{i2}	・・・	y_{ij}	・・・	y_{in}	$\bar{y}_{i\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_a	y_{a1}	y_{a2}	・・・	y_{aj}	・・・	y_{an}	$\bar{y}_{a\cdot}$

表示 0.4.1 実験データ

実験データの表現

- 1 因子実験の事例

  a 種類の薬剤 A_1、A_2、・・・、A_a の薬効を比較する
  総数 N 匹の実験動物を用いて、n 匹ずつ a 群に分ける（$N = an$）
  各群にそれぞれ異なる薬剤を投与して結果を観察
  観察項目：血液成分、体重など
  データを一般化して表示

同じ水準での観測値
繰り返し数：n
異なる場合：n_i

水準	繰り返し						平均
	1	2	・・・	j	・・・	n	
A_1	y_{11}	y_{12}	・・・	y_{1j}	・・・	y_{1n}	$\bar{y}_{1\cdot}$
A_2	y_{21}	y_{22}	・・・	y_{2j}	・・・	y_{2n}	$\bar{y}_{2\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_i	y_{i1}	y_{i2}	・・・	y_{ij}	・・・	y_{in}	$\bar{y}_{i\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_a	y_{a1}	y_{a2}	・・・	y_{aj}	・・・	y_{an}	$\bar{y}_{a\cdot}$

因子：A（B、C、・・・）

水準：薬剤の種類
水準数は a 個
水準番号は i

観測値：第 i 水準の j 番目
行　　列

実験データの表現

- 1 因子実験の事例

シグマ
j を 1 から n_i まで変化させて、
それらを足す

$$\bar{y}_{i\cdot} = \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} \Big/ n_i$$

$$= \frac{y_{i1} + y_{i2} \cdots + y_{in_i}}{n_i}$$

第 i 水準の平均
添え字の「・」は j について
平均したことを意味する

同じ水準での観測値
繰り返し数：n
異なる場合：n_i

第 i 水準の平均

水準	繰り返し						
	1	2	・・・	j	・・・	n	平均
A_1	y_{11}	y_{12}	・・・	y_{1j}	・・・	y_{1n}	$\bar{y}_{1\cdot}$
A_2	y_{21}	y_{22}	・・・	y_{2j}	・・・	y_{2n}	$\bar{y}_{2\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_i	y_{i1}	y_{i2}	・・・	y_{ij}	・・・	y_{in}	$\bar{y}_{i\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_a	y_{a1}	y_{a2}	・・・	y_{aj}	・・・	y_{an}	$\bar{y}_{a\cdot}$

因子：A（B、C、・・・）

水準：薬剤の種類
水準数は a 個
水準番号は i

観測値：第 i 水準の j 番目
行　　列

実験データの表現

●実験データの解析の基本

「繰り返し誤差」に比べて「平均値の差（水準間の差）」が統計的に意味があるか判断する

水準内の観測値は、同条件で実験して得られるが、
バラツキをもっているため
同一の値にはらない

バラツキ（ぱらつき）
・・・繰り返し誤差（誤差）

２因子以上になると
誤差の評価に様々な工夫が必要
実験の計画、データの解析方法を
実験計画法が教えてくれる

繰り返し誤差による
バラツキがある
（水準内のバラツキ）

平均値の差
（水準間の差）

水準	繰り返し						平均
	1	2	・・・	j	・・・	n	
A_1	y_{11}	y_{12}	・・・	y_{1j}	・・・	y_{1n}	$\bar{y}_{1\cdot}$
A_2	y_{21}	y_{22}	・・・	y_{2j}	・・・	y_{2n}	$\bar{y}_{2\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_i	y_{i1}	y_{i2}	・・・	y_{ij}	・・・	y_{in}	$\bar{y}_{i\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_a	y_{a1}	y_{a2}	・・・	y_{aj}	・・・	y_{an}	$\bar{y}_{a\cdot}$

0.5 Fisher の 3 原則

実験計画法の基本原則

Fisher の３原則

●R. A. Fisher（1890年 – 1962年、イギリス）

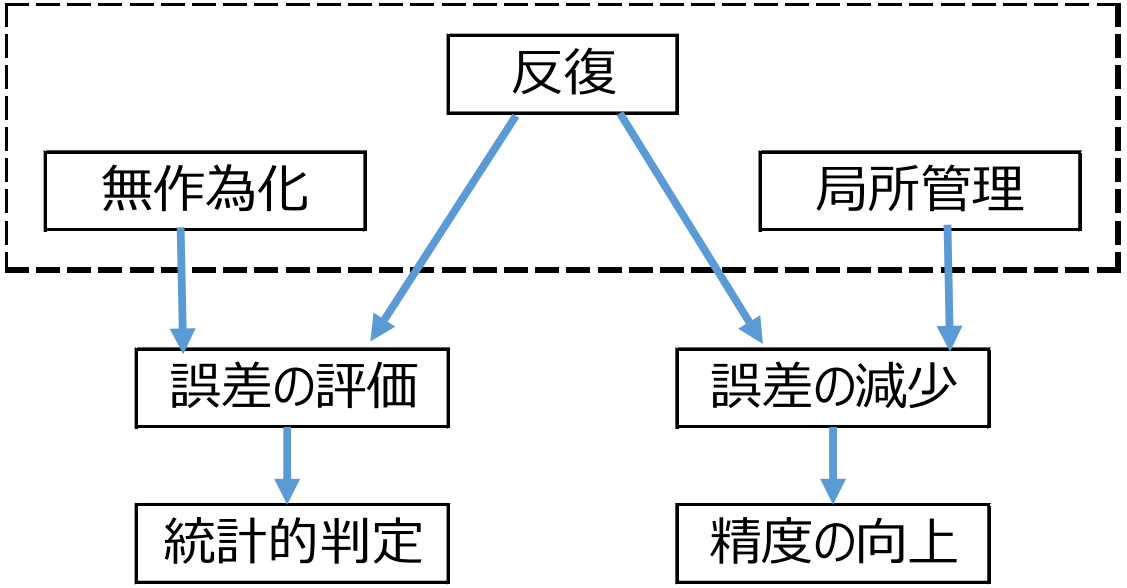
統計学者、進化生物学者、遺伝学者、実験計画法を創始

●Fisher の３原則

（1）反復（replication）　・・・・・・誤差分散の評価

（2）無作為化（randomization）　・・・系統誤差の偶然誤差への転化

（3）局所管理 （local control）・・・・系統誤差の除去



表示 0.5.1 Fisher の３原則とその役割

Fisherの３原則

●反復

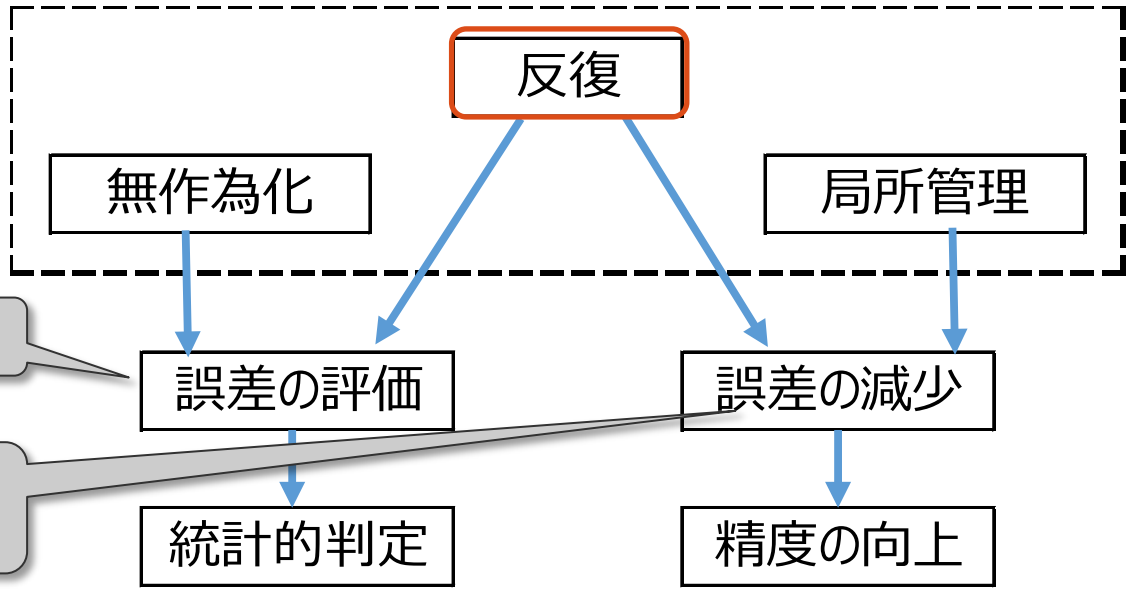
同じ水準（条件）で、複数回の繰り返しを実施して観測値を得る

繰り返しの誤差の大きさ（誤差分散）を評価し、平均値の差が統計的に意味があるか判断する

注）「反復」と「繰り返し」を区別して使う場合もあるが、ここでは同じ意味とする

同じ個体を繰り返して測定することとは異なる（§7.4「経時データの解析」p.268）

水準	繰り返し 1	2	・・・	j	・・・	n	平均
A_1	y_{11}	y_{12}	・・・	y_{1j}	・・・	y_{1n}	$\bar{y}_{1\cdot}$
A_2	y_{21}	y_{22}	・・・	y_{2j}	・・・	y_{2n}	$\bar{y}_{2\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・
A_i	y_{i1}	y_{i2}	・・・	y_{ij}	・・・	y_{in}	$y_{i\cdot}$
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・		
A_a	y_{a1}	y_{a2}	・・・	y_{aj}	・・・		

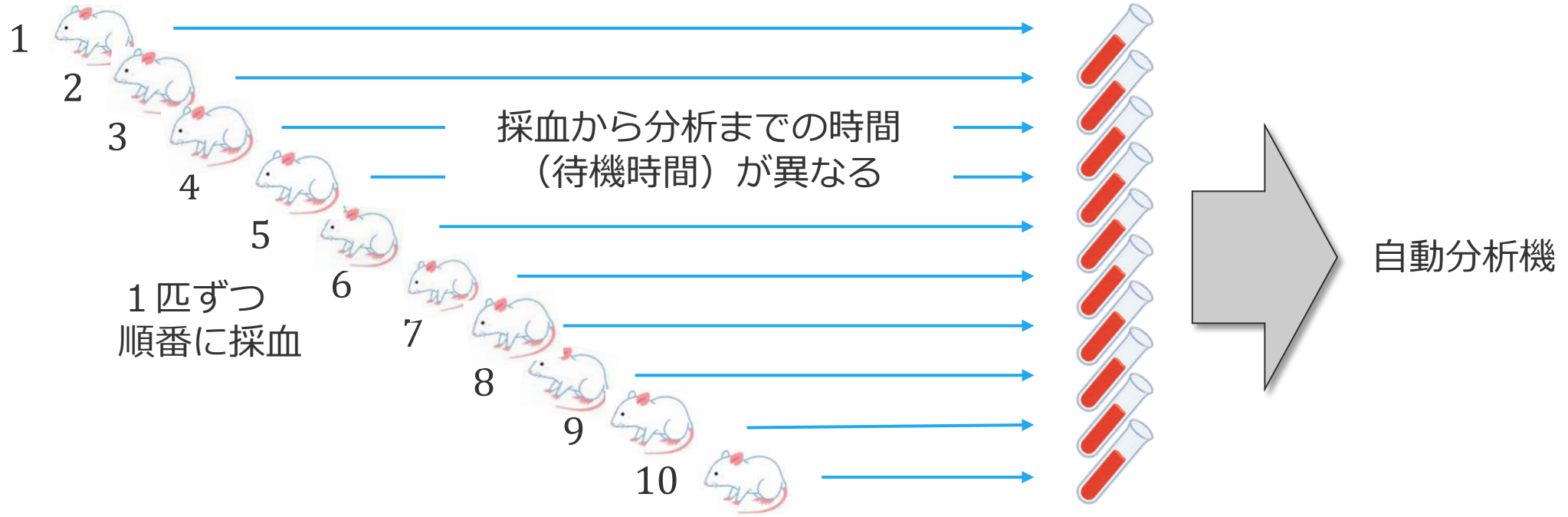


Fisher の３原則

●無作為化（ランダム化）

無作為化により、系統誤差を偶然誤差へ転化させることができる

事例：薬剤 A1, A2 を５匹ずつラットに投与し、１匹ずつ採血して、一度に自動分析機にかける
血液サンプルごとに、採血から分析までの待機時間が異なると、測定値に影響が及ぶ
この場合は、10 匹からの採血の順番を無作為に決める



Fisher の３原則

●無作為化（ランダム化）

無作為化により、系統誤差を偶然誤差へ転化させることができる

事例：薬剤 A1, A2 を５匹ずつラットに投与し、１匹ずつ採血して、一度に自動分析機にかける
血液サンプルごとに、採血から分析までの待機時間が異なると、測定値に影響が及ぶ
この場合は、10 匹からの採血の順番を無作為に決める

分析までの待機時間の影響が系統誤差になる
（誤差が一定の方向性をもっている）

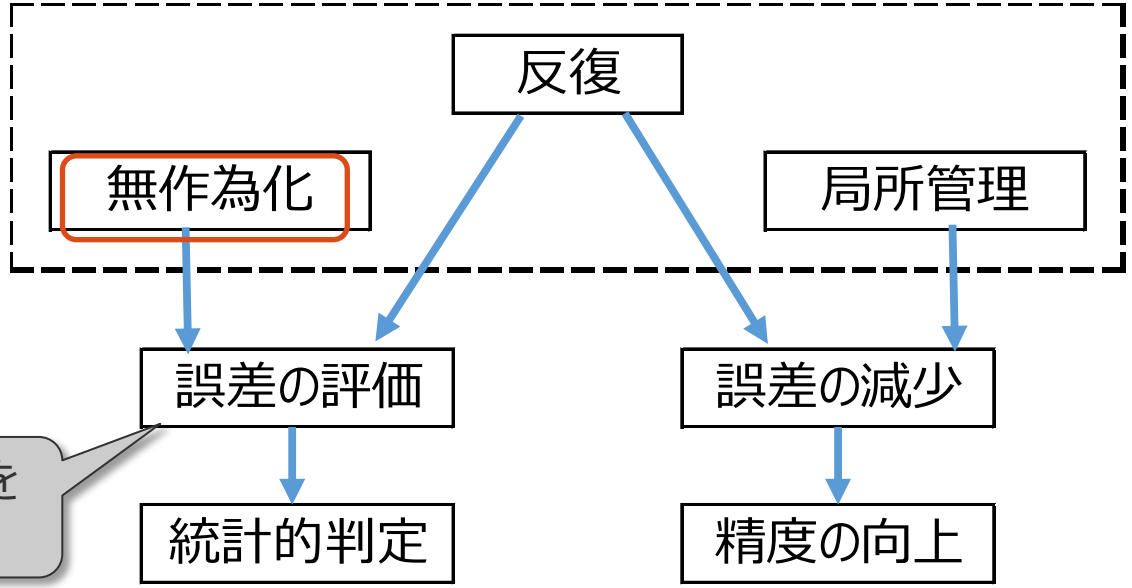
A_1	1	2	3	4	5
A_2	6	7	8	9	10

採血の順番

順番を無作為化して系統誤差を偶然誤差に転化

A_1	4	2	6	9	8
A_2	10	1	5	7	3

繰り返し誤差を
正しく評価



Fisher の 3 原則

●局所管理

局所的に均一と考えることができるブロックを設定し、この中で無作為化する
系統誤差の除去に繋がる（→ §3.1 「質的因子の乱塊法」以降で説明）

採血の順番の早い方から 2 枠ごとのブロックを作り、その中で薬剤 A1, A2 を無作為に割付
（順番が隣同士ならば、採血から分析までの時間の影響はごく小さいので、ほぼ均一）
（第 1 部 §3.5「対応のある場合の平均値の差の t 検定」p.152、第 2 部 §3.1 乱塊法）

全体を無作為化すると、偏る可能性もある

A_1	**3**	*7*	**1**	**5**	**4**
A_2	*8*	*10*	*9*	**2**	*6*

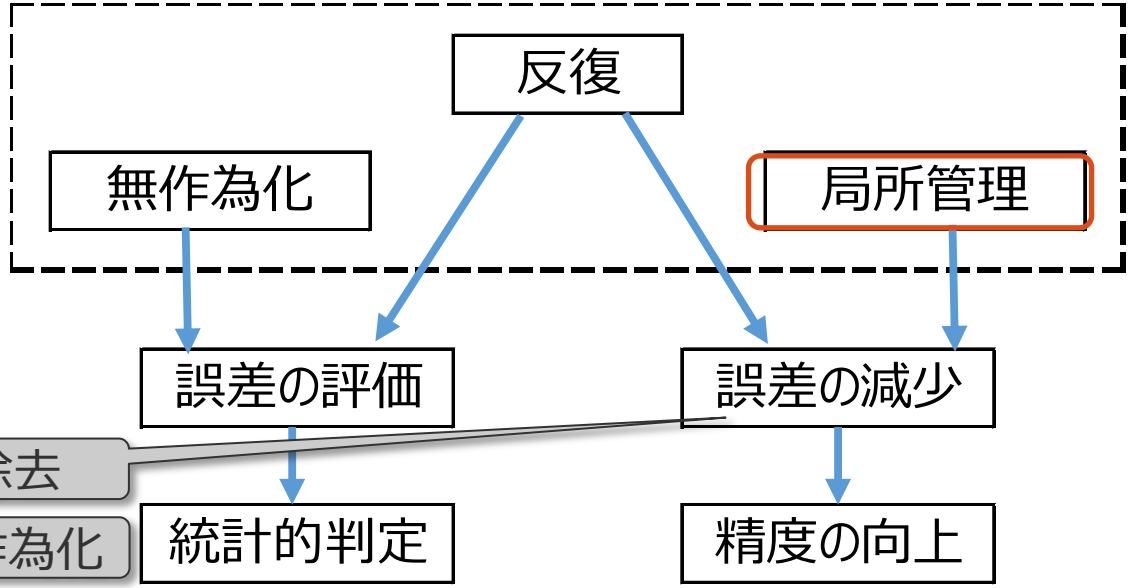
採血の順番

ブロックを設定し、その中でA1、A2を無作為化

A_1	1	4	6	8	9
A_2	2	3	5	*7*	10

系統誤差の除去

ブロック内の無作為化



無作為化の方法

●Excel の印刷物を利用した実験順序の無作為化

実験現場で利用できる簡便法

ブログ参照　「実験計画におけるランダム化」

●Excel を使った実験順序の無作為化

Excel ファイル「DE改0-はじめに.xls」を読み込み

「表示 0.5.2」 を選択

表示 0.5.2 完全ランダム化

	A	B	C	D	E	F
4		1	2	3	4	5
5	A1	0.382	0.101	0.596	0.899	0.885
6	A2	0.958	0.014	0.407	0.863	0.139
7						
8		1	2	3	4	5
9	A1	4	2	6	9	8
10	A2	10	1	5	7	3
11						
12	B9: =RANK(B5, $B$5:$F$6, 1)					

無作為化の方法

●Excelを使った無作為化（完全無作為化法）

10匹（２水準 A1, A2 、繰り返し数５）について
全体を無作為化して割付
（Excelによる無作為の方法→ブログ 参照）

［ツール］＞［データ］＞［分析］＞
［データ分析］＞［乱数発生］
一様乱数　　変数の数：5
乱数の数：2

セルB5:F6
一様乱数を発生（第１部 §1.2 p.13）
分析ツールの乱数発生を利用

セルB9:F10
RANK 関数で１～10 の順位を付ける
RANK(値，値の集まり，オプション)
（第１部 §3.7 p.169）

0：降順
1：昇順

Excel関数の引数に付ける
「$」マークの利用方法（第１部 §1.1 p.9）

表示 0.5.2 完全ランダム化

	A	B	C	D	E	F
4		1	2	3	4	5
5	A1	0.382	0.101	0.596	0.899	0.885
6	A2	0.958	0.014	0.407	0.863	0.139
7						
8		1	2	3	4	5
9	A1	4	2	6	9	8
10	A2	10	1	5	7	3
11						
12						

B9: =RANK(B5, $B$5:$F$6, 1)

無作為化の方法

●Excelを使った無作為化（乱塊法）

順番の早い方から２枠ずつのブロックを設定

そこに、２水準 A1, A2 を無作為に割付

一様乱数に15 行目の繰り返し番号を加算

ブロックを設定（整数部分でブロックを識別）

セルB16：0.382 + 1 = 1.382

セルB17：0.958 + 1 = 1.958

繰り返し番号

ブロックを識別

RANK関数で 1～10 の順位を付ける

水準数が３以上でも、同様にして行える（乱塊法）

表示 0.5.3 改善したランダム化

一様乱数

	A	B	C	D	E	F
4		1	2	3	4	5
5	A1	0.382	0.101	0.596	0.899	0.885
6	A2	0.958	0.014	0.407	0.863	0.139

繰り返し番号

	A	B	C	D	E	F
15		1	2	3	4	5
16	A1	1.382	2.101	3.596	4.899	5.885
17	A2	1.958	2.014	3.407	4.863	5.139

ブロック

	A	B	C	D	E	F
19		1	2	3	4	5
20	A1	1	4	6	8	10
21	A2	2	3	5	7	9

乱数 + 繰り返し番号

B16 =B5+B$15

B20 =RANK(B16, $B$16:$F$17, 1)

0.6 実験開始に先立って

実験計画の重要性

実験開始に先立って

p.9

●実験の計画

実験を開始する前に、十分検討して、慎重に考えて実験計画を立案する
実験の成否はこの段階で決まる

●特性と因子

目標（血圧の低下、血液コレステロール濃度の減少：特性）に対して、
取り上げる要因（因子）がどのような因果の繋がりで効くのかを議論しておく
（第 1 部 § 1.5「モデル」p.40 で取り上げた　因果関連図が参考になる）

0.7 実験誤差の適切な選び方

実験のどの段階でどのような誤差が入るか考慮して、
実験を立案することが重要

（第 1 部　§1.5「モデル」p.39 紙ヘリコプター実験 で説明済）

実験方法

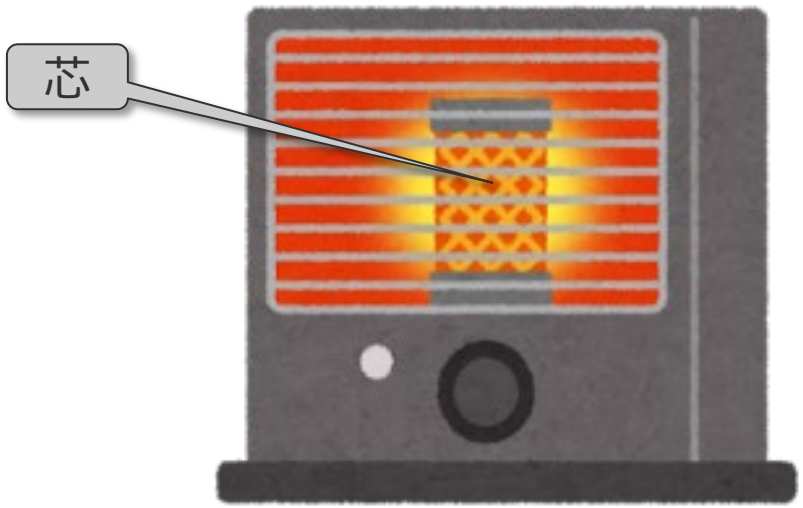
●事例

石油ストーブ

中央にある円筒形の部分に、不燃性繊維（ガラス繊維など）の「芯」がある

灯油が毛細管現象で芯に上がってきて燃焼する

電源不要なので、災害停電時の暖房や煮炊きに利用可



実験方法

●事例

織り方を変えた２種類の石油ストーブの芯 A と B（芯は不燃性繊維を織ったもの）
芯の品質の良否を一酸化炭素（ CO ガス）の発生量で評価（少ないほど優良）
芯 A と B を石油ストーブに取り付けて、点火して一定時間後の CO ガスを測定
芯 A と B の発生量を比較するために、実験を正しく行うにはどうしらよいか？
「芯」「石油ストーブ」「 点火」「CO ガス測定」の組み合わせ方（繰り返し数３）
「芯」と「石油ストーブ」の必要数

条件を単純化して考える

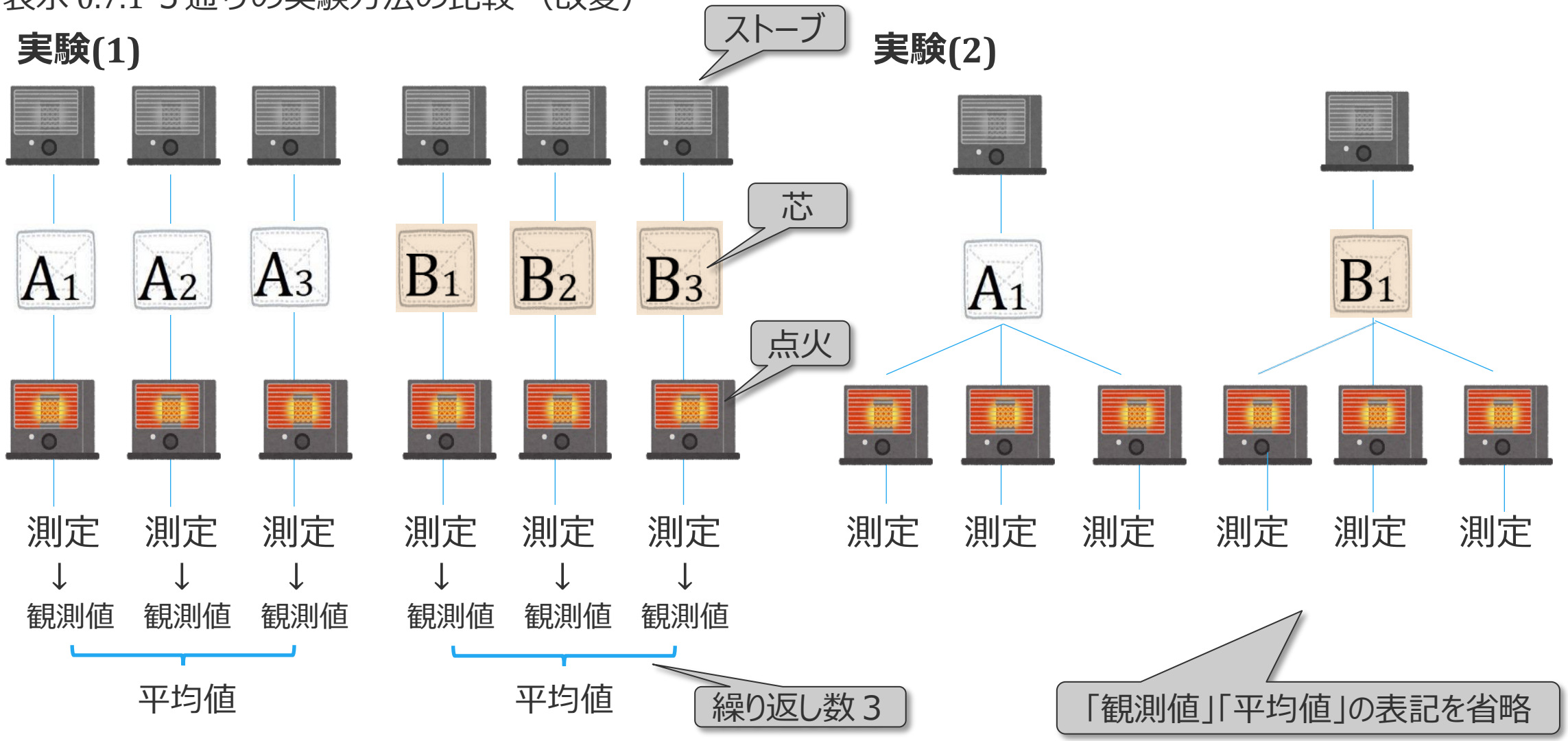
２水準の１因子実験

水準	繰り返し		
	1	2	3
A	y_{11}	y_{12}	y_{13}
B	y_{21}	y_{22}	y_{23}

観測値

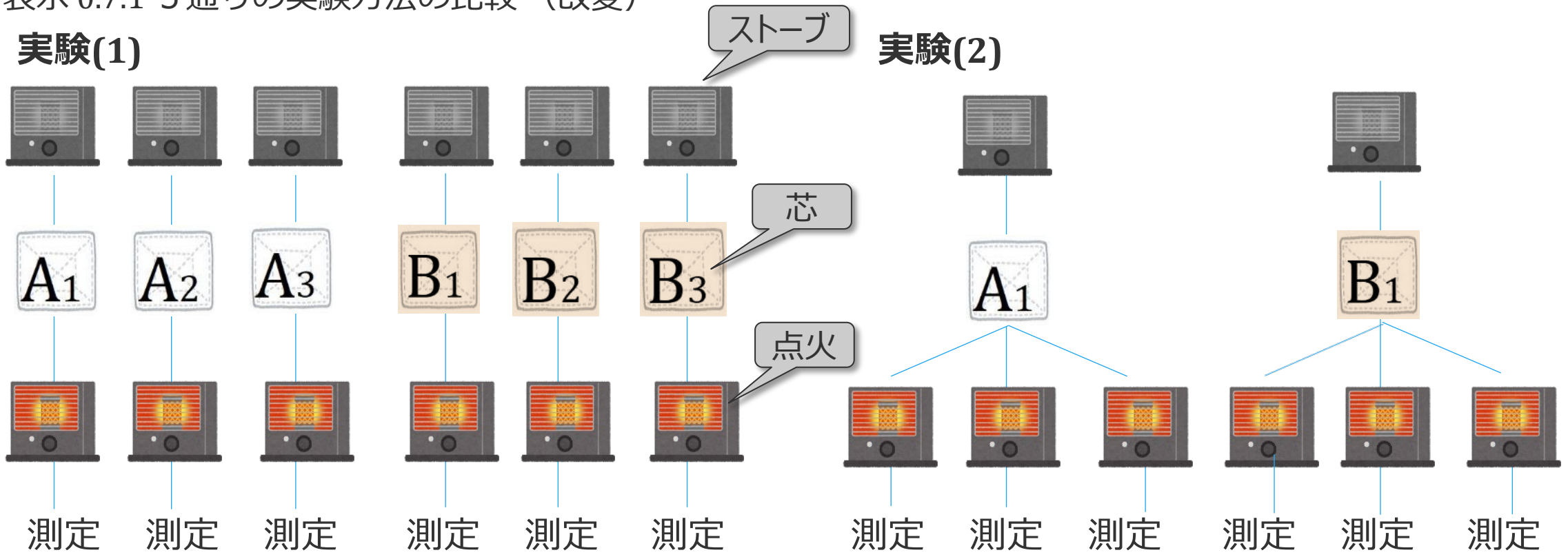
実験方法

表示 0.7.1 ５通りの実験方法の比較 （改変）



実験方法

表示 0.7.1 ５通りの実験方法の比較 （改変）



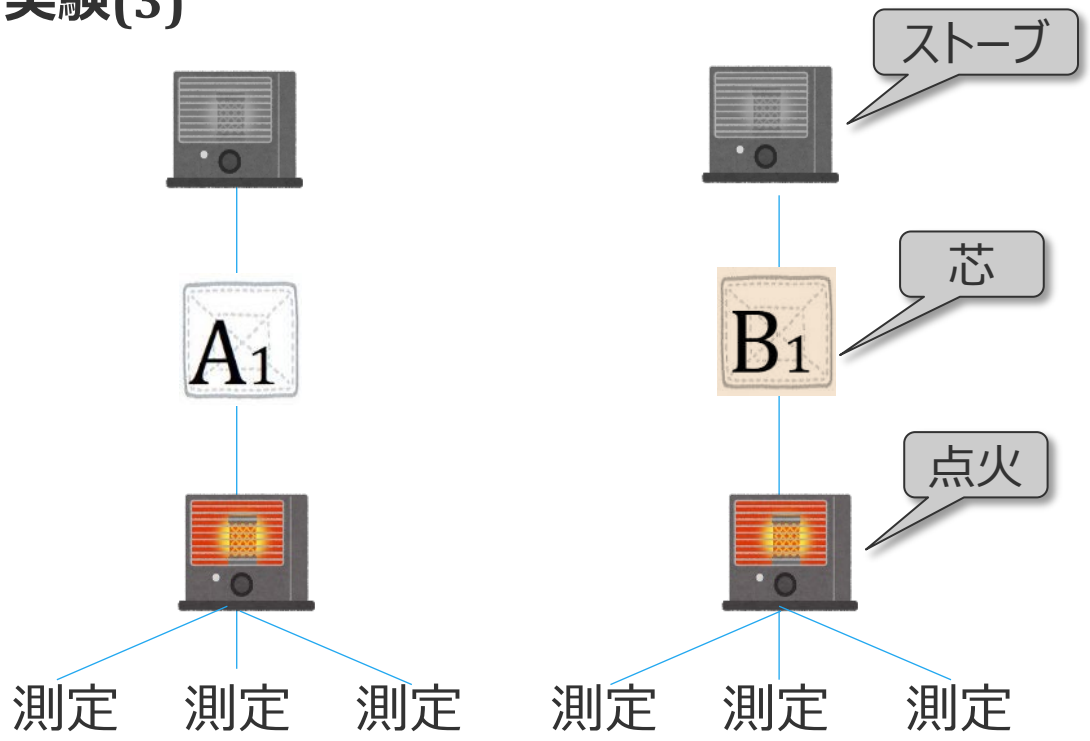
石油ストーブ　：水準ごとに３台ずつ計６台
芯　：A, B ３個ずつ
点火回数　：３回ずつ（順番はランダム）

石油ストーブ　：水準ごとに１台ずつ計２台
芯　：A, B １個ずつ
点火回数　：３回ずつ（順番はランダム）

実験方法

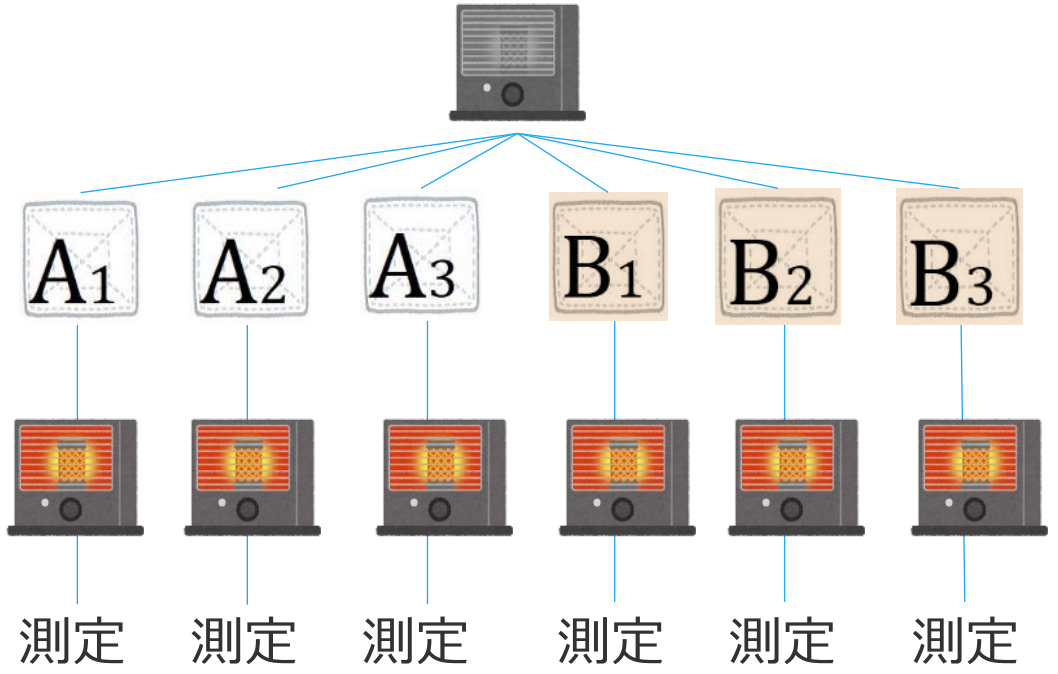
表示 0.7.1 ５通りの実験方法の比較 （改変）

実験(3)



石油ストーブ　：水準ごとに１台ずつ計２台
芯　：A, B １個ずつ
点火回数　：１回ずつ

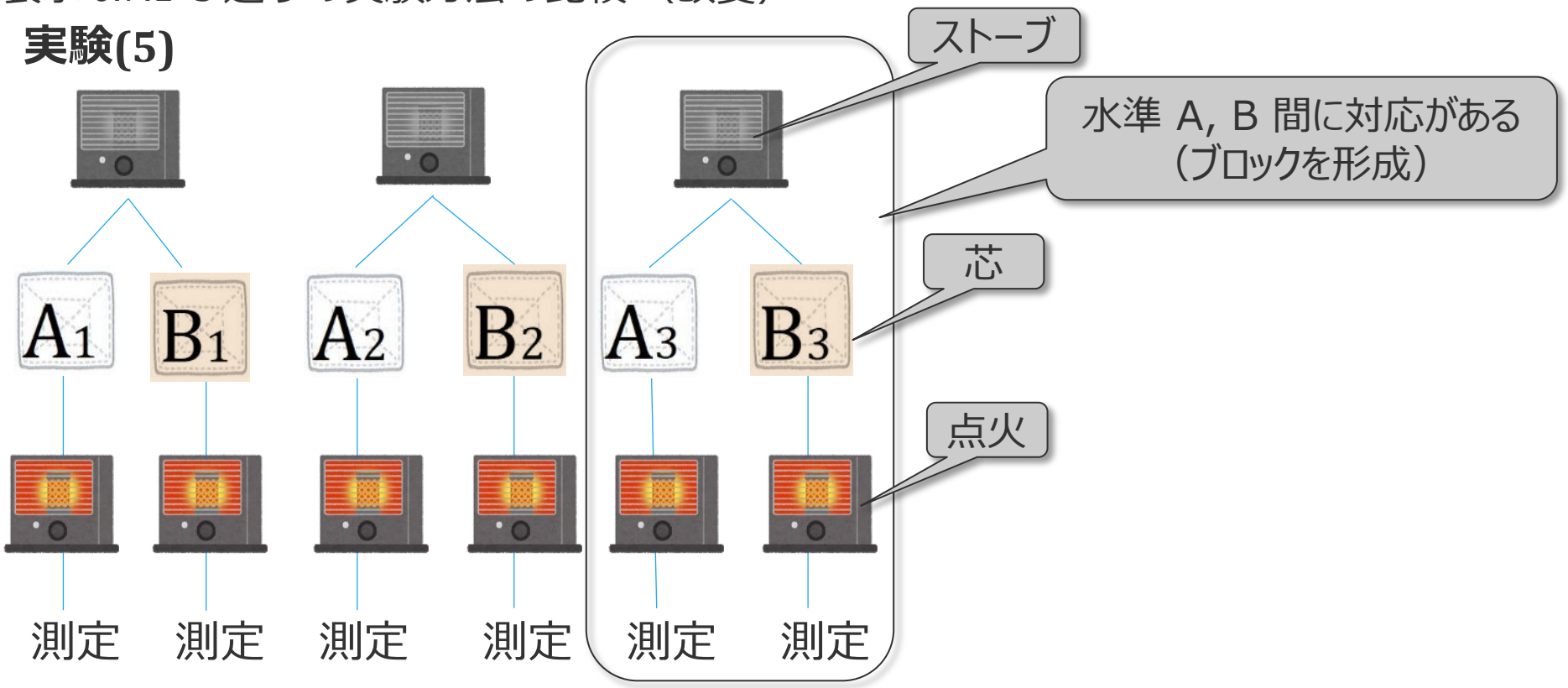
実験(4)



石油ストーブ　：全体で１台
芯　：A, B ３個ずつ（ランダム化）
点火回数　：３回ずつ

実験方法

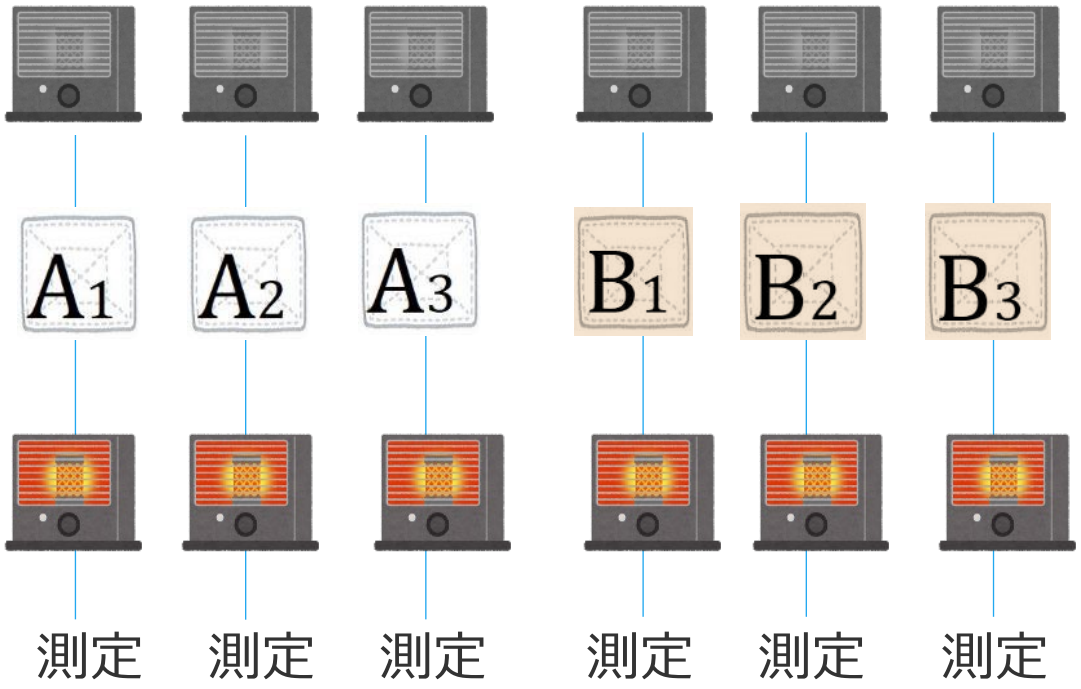
表示 0.7.1 ５通りの実験方法の比較 （改変）



石油ストーブ　：全体で３台
芯　：A, B　３個ずつ（ブロックごとにランダムに取付）
点火回数　：３回ずつ

実験方法

実験(1)



石油ストーブ　：水準ごとに３台ずつ計６台
芯　：A, B ３個ずつ
点火回数　：３回ずつ（順番はランダム）

実験(1) ～ (5) の測定回数は水準ごとに３回
同じ形式のデータを得る（実験方法は様々!）

水準	繰り返し		
	1	2	3
A	y_{11}	y_{12}	y_{13}
B	y_{21}	y_{22}	y_{23}

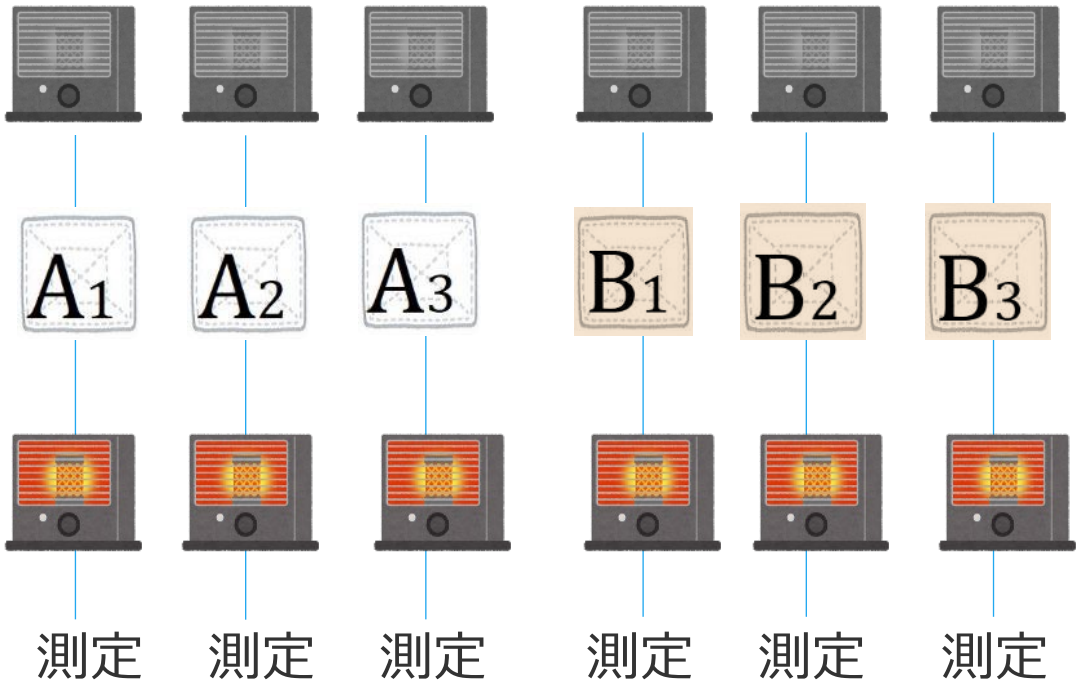
観測値

水準あたりの台数、個数、回数

実験	石油ストーブ	芯	点火回数	測定回数
(1)	3	3	3	3
(2)	1	1	3	3
(3)	1	1	1	3
(4)	(1)	3	3	3
(5)	(3)	3	3	3

実験方法

実験(1)



石油ストーブ　：水準ごとに３台ずつ計６台
芯　：A, B ３個ずつ
点火回数　：３回ずつ（順番はランダム）

実験(1) ～ (5) の測定回数は水準ごとに３回
同じ形式のデータを得る（実験方法は様々!）

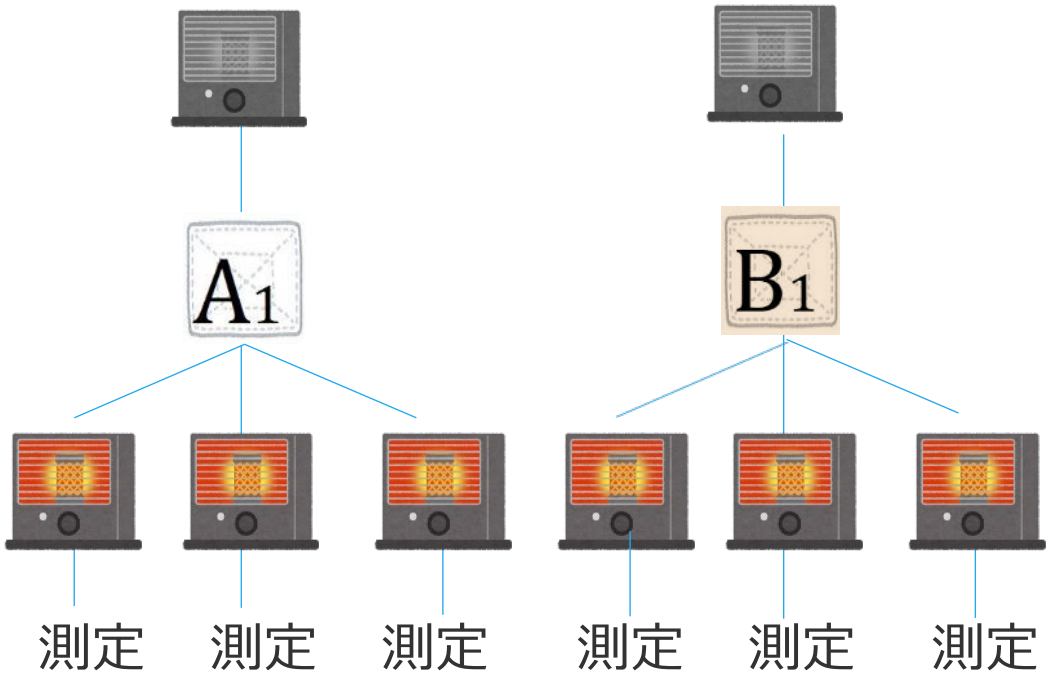
水準	繰り返し		
	1	2	3
A	y_{11}	y_{12}	y_{13}
B	y_{21}	y_{22}	y_{23}

水準あたりの台数、個数、回数

実験	石油ストーブ	芯	点火回数	測定回数
(1)	3	3	3	3
(2)	1	1	3	3
(3)	1	1	1	3
(4)	(1)	3	3	3
(5)	(3)	3	3	3

実験方法

実験(2)



石油ストーブ　：１台ずつ計２台
芯　：１個ずつ
点火回数　：３回ずつ（順番はランダム）

実験(1) ～ (5) の測定回数は水準ごとに３回
同じ形式のデータを得る（実験方法は様々!）

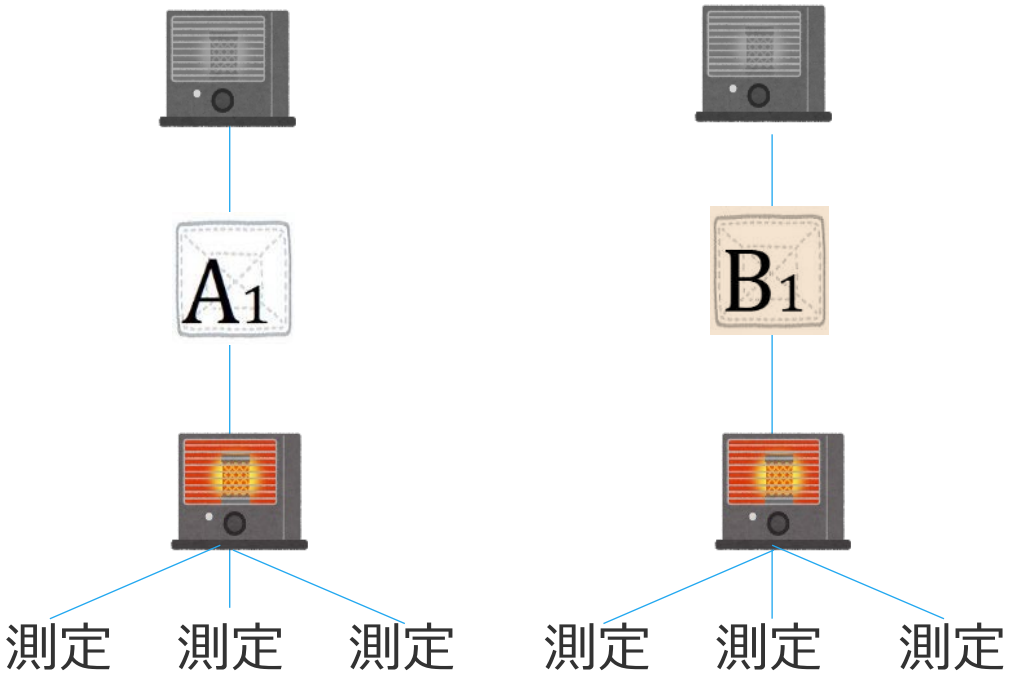
水準	繰り返し		
	1	2	3
A	y_{11}	y_{12}	y_{13}
B	y_{21}	y_{22}	y_{23}

水準あたりの台数、個数、回数

実験	石油ストーブ	芯	点火回数	測定回数
(1)	3	3	3	3
(2)	1	1	3	3
(3)	1	1	1	3
(4)	(1)	3	3	3
(5)	(3)	3	3	3

実験方法

実験(3)



石油ストーブ　：１台ずつ計２台
芯　　：１個ずつ
点火回数　　：１回ずつ

実験(1) ～ (5) の測定回数は水準ごとに３回
同じ形式のデータを得る（実験方法は様々!）

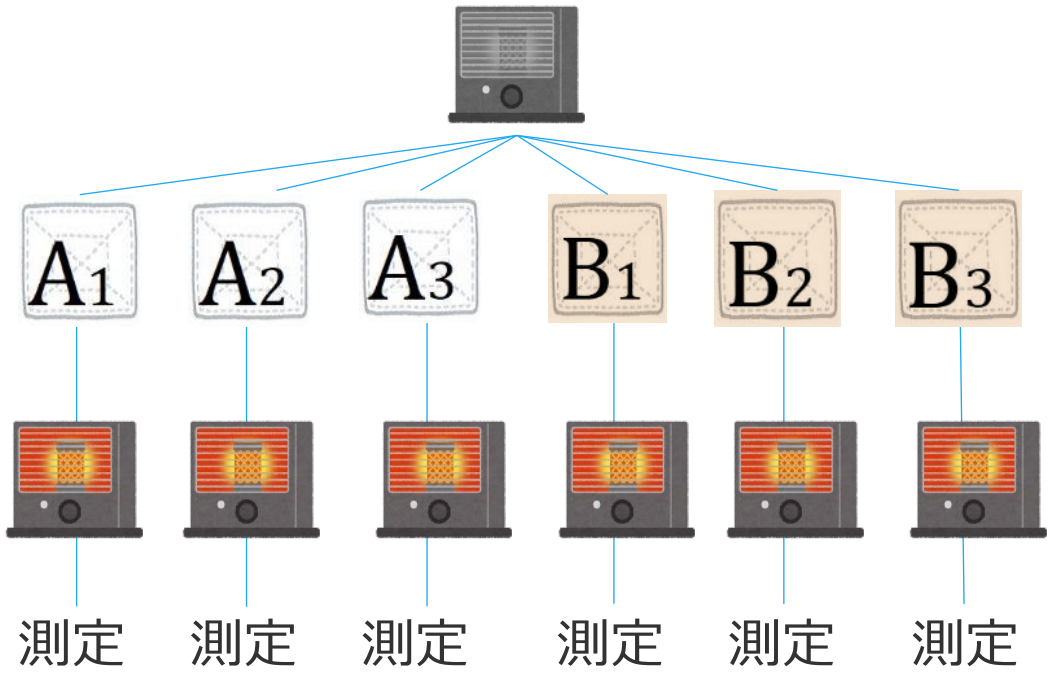
水準	繰り返し		
	1	2	3
A	y_{11}	y_{12}	y_{13}
B	y_{21}	y_{22}	y_{23}

水準あたりの台数、個数、回数

実験	石油ストーブ	芯	点火回数	測定回数
(1)	3	3	3	3
(2)	1	1	3	3
(3)	1	1	1	3
(4)	(1)	3	3	3
(5)	(3)	3	3	3

実験方法

実験(4)



石油ストーブ　：１台
芯　　：３個ずつ（ランダムに取付）
点火回数　　：３回ずつ

実験(1) ～ (5) の測定回数は水準ごとに３回
同じ形式のデータを得る（実験方法は様々!）

水準	繰り返し		
	1	2	3
A	y_{11}	y_{12}	y_{13}
B	y_{21}	y_{22}	y_{23}

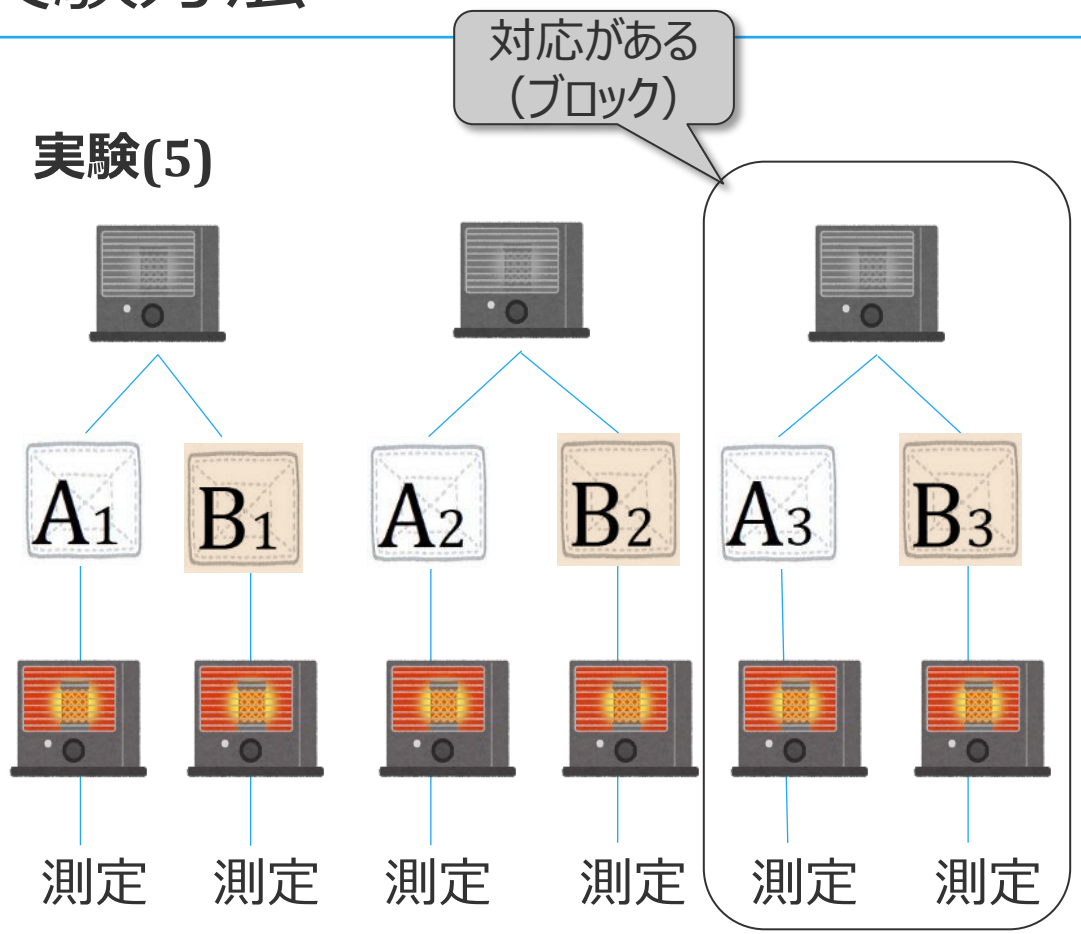
y_{11}, y_{12}, y_{13} は交換可

水準あたりの台数、個数、回数

実験	石油ストーブ	芯	点火回数	測定回数
(1)	3	3	3	3
(2)	1	1	3	3
(3)	1	1	1	3
(4)	(1)	3	3	3
(5)	(3)	3	3	3

実験方法

実験(5)



石油ストーブ　：３台
芯　　：３個ずつ（組ごとに
点火回数　　：３回ずつ　ランダムに取付）

実験(1) ～ (5) の測定回数は水準ごとに３回
同じ形式のデータを得る（実験方法は様々!）

水準	繰り返し		
	1	2	3
A	y_{11}	y_{12}	y_{13}
B	y_{21}	y_{22}	y_{23}

対応がある
(ブロック)

水準あたりの台数、個数、回数

実験	石油ストーブ	芯	点火回数	測定回数
(1)	3	3	3	3
(2)	1	1	3	3
(3)	1	1	1	3
(4)	(1)	3	3	3
(5)	(3)	3	3	3

バラツキ要因

●平均値の差と繰り返し誤差の比較

「繰り返し誤差」に比べて，「平均値の差（水準間の差）」が統計的に意味があるか判断する

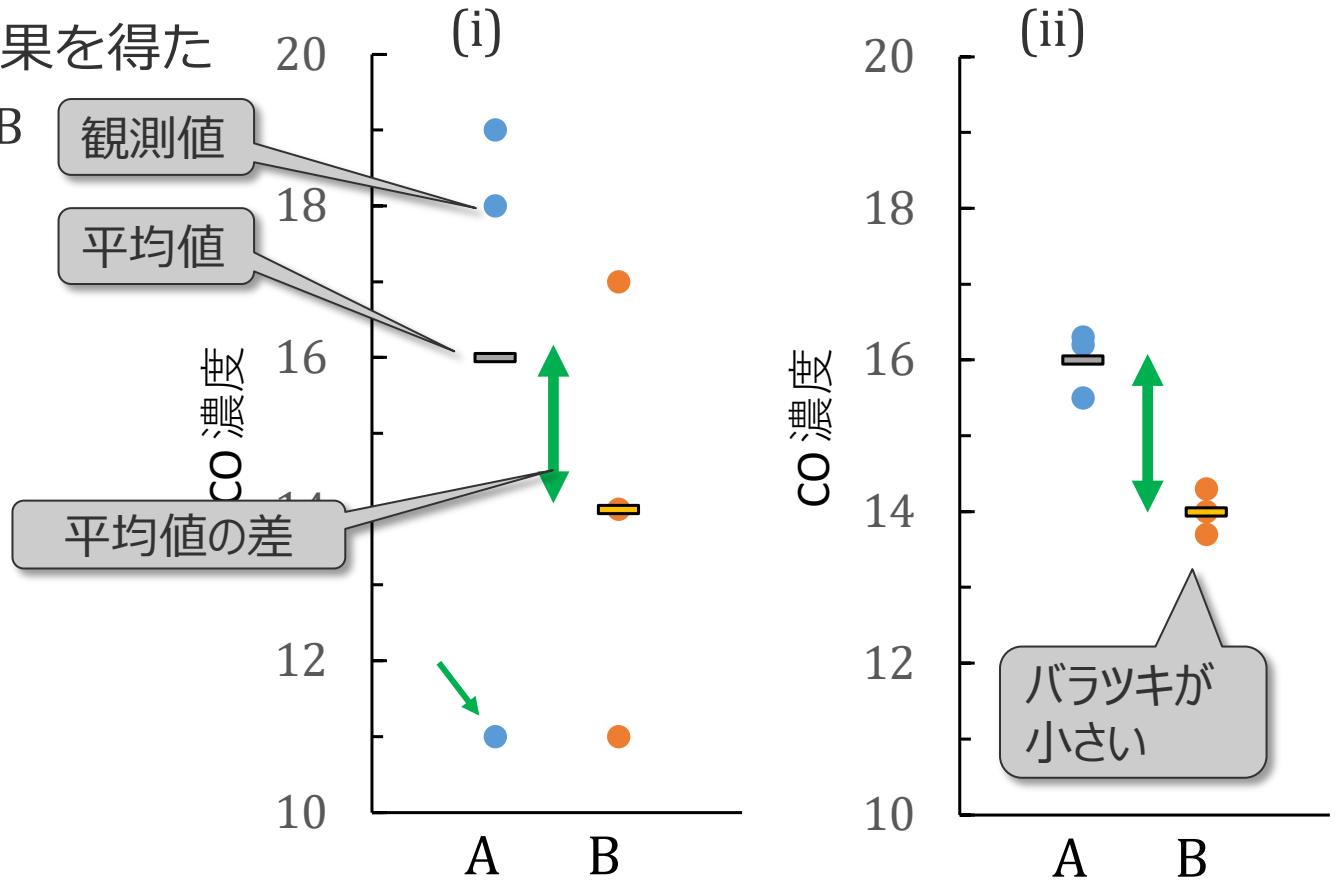
ストーブの芯の実験で (i) または (ii)の結果を得た
(i) と (ii) の平均値は同一、どちらも A＞B
(i) のバラツキは (ii) よりも小さい
(ii) の場合に A＞B であると結論できる
（統計的解析は省略、第 1 部 §2.6 参照）

(i)

	A	B
	19.0	14.0
	18.0	11.0
	11.0	17.0
平均	16.0	14.0

(ii)

	A	B
	16.3	14.0
	16.2	13.7
	15.5	14.3
平均	16.0	14.0



バラツキ要因

●平均値の差と繰り返し誤差の比較

「繰り返し誤差」に比べて，「平均値の差」が統計的に意味があるか判断する

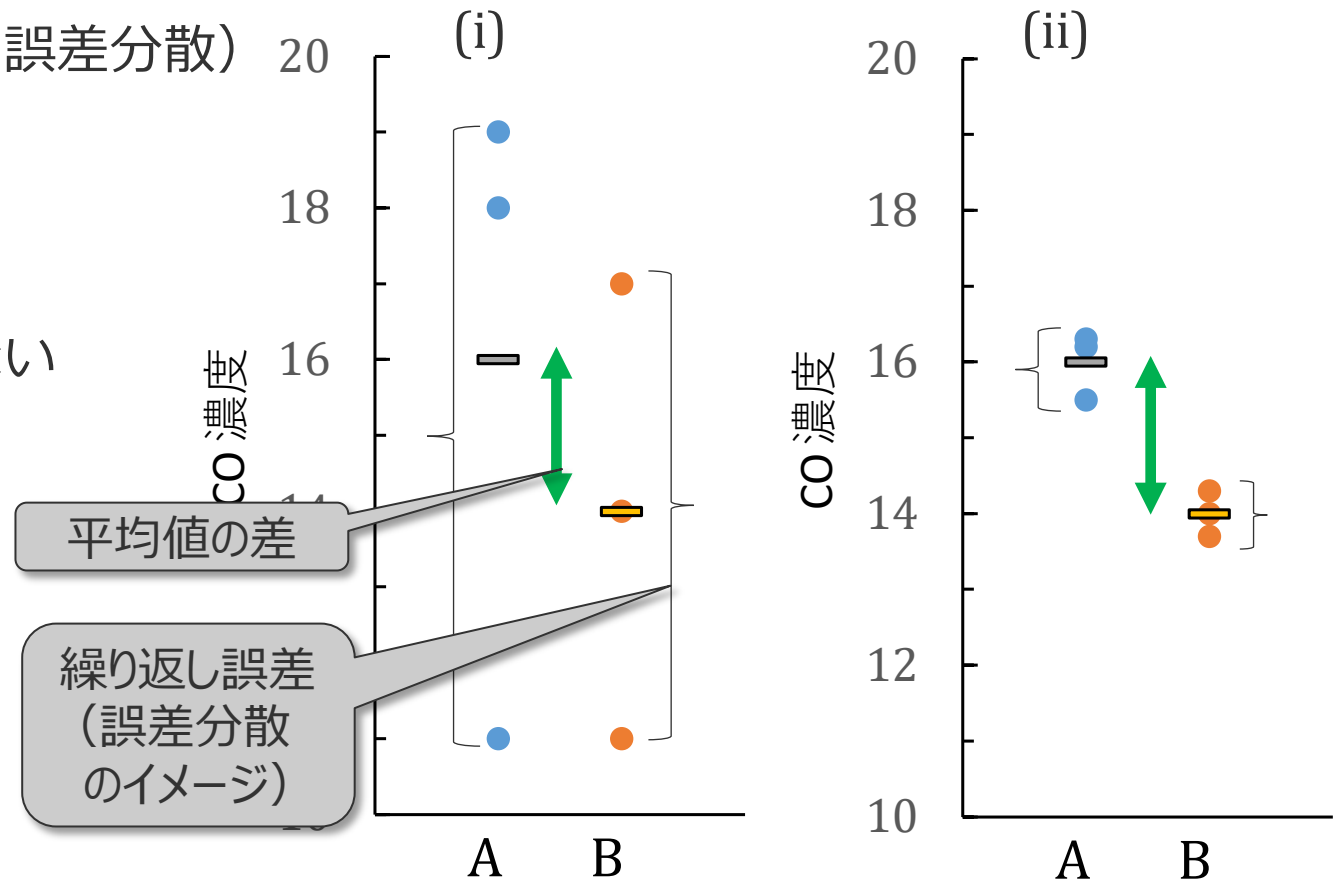
繰り返し誤差（繰り返し誤差の大きさ＝誤差分散）
- 同じ条件の下で繰り返し実験して
- 得られた観測値のバラツキ
- 同じ結果が期待されるが、
- 様々なばらつき要因の影響で一致しない

(i)

	A	B
	19.0	14.0
	18.0	11.0
	11.0	17.0
平均	16.0	14.0

(ii)

	A	B
	16.3	14.0
	16.2	13.7
	15.5	14.3
平均	16.0	14.0



バラツキ要因

●平均値の差と繰り返し誤差に含まれるバラツキ要因

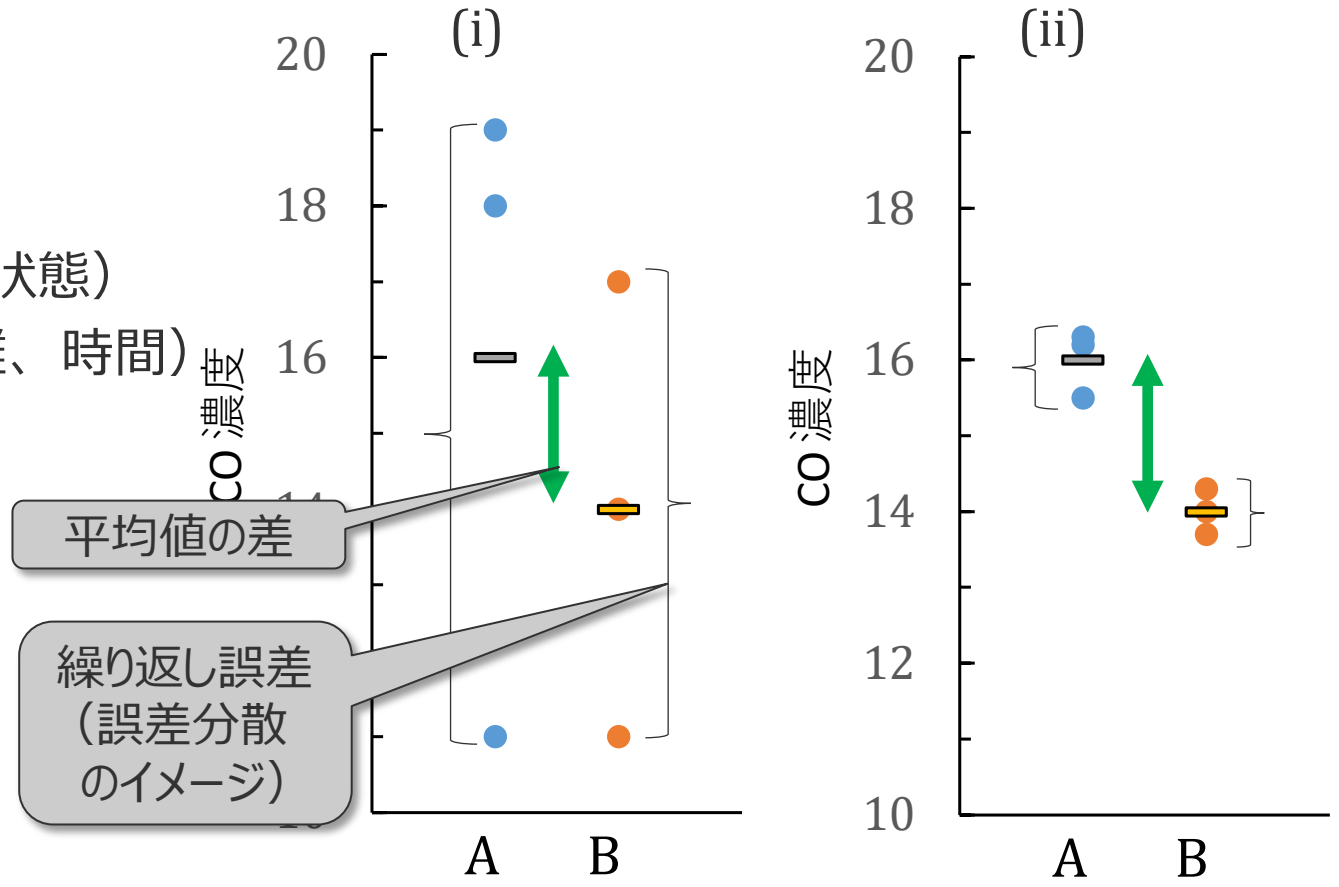
「繰り返し誤差」に比べて，「平均値の差」が統計的に意味があるか判断する

バラツキ要因（バラツキが生じる要因）

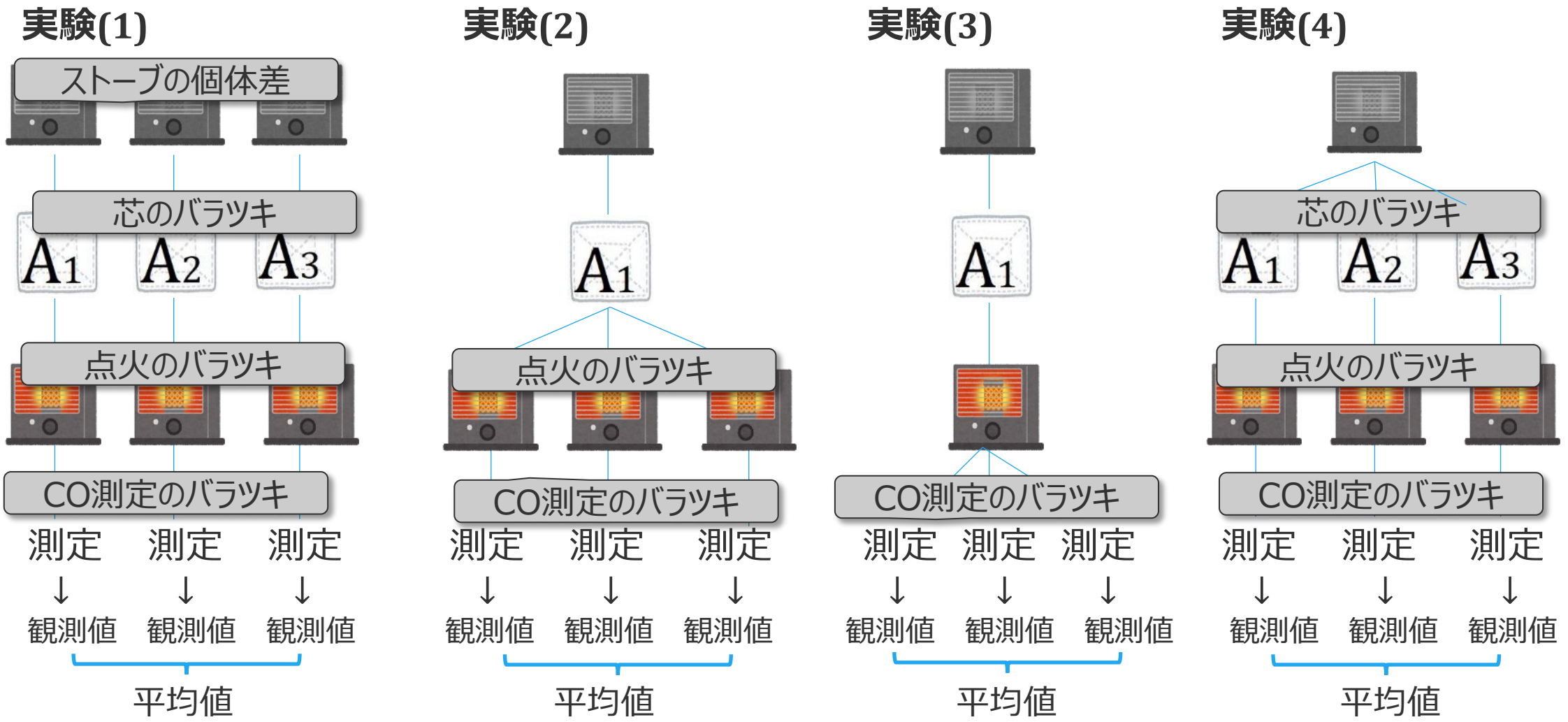
ストーブの個体差
芯のバラツキ（製品の出来具合）
点火のバラツキ（芯の出具合、炎の状態）
CO測定のバラツキ（読み取り、距離、時間）

「**繰り返し誤差**」に含まれる
「**平均値の差**」に含まれる
（**水準間の差**）

実験 (1)～(5) で、
含まれるバラツキ要因が異なる

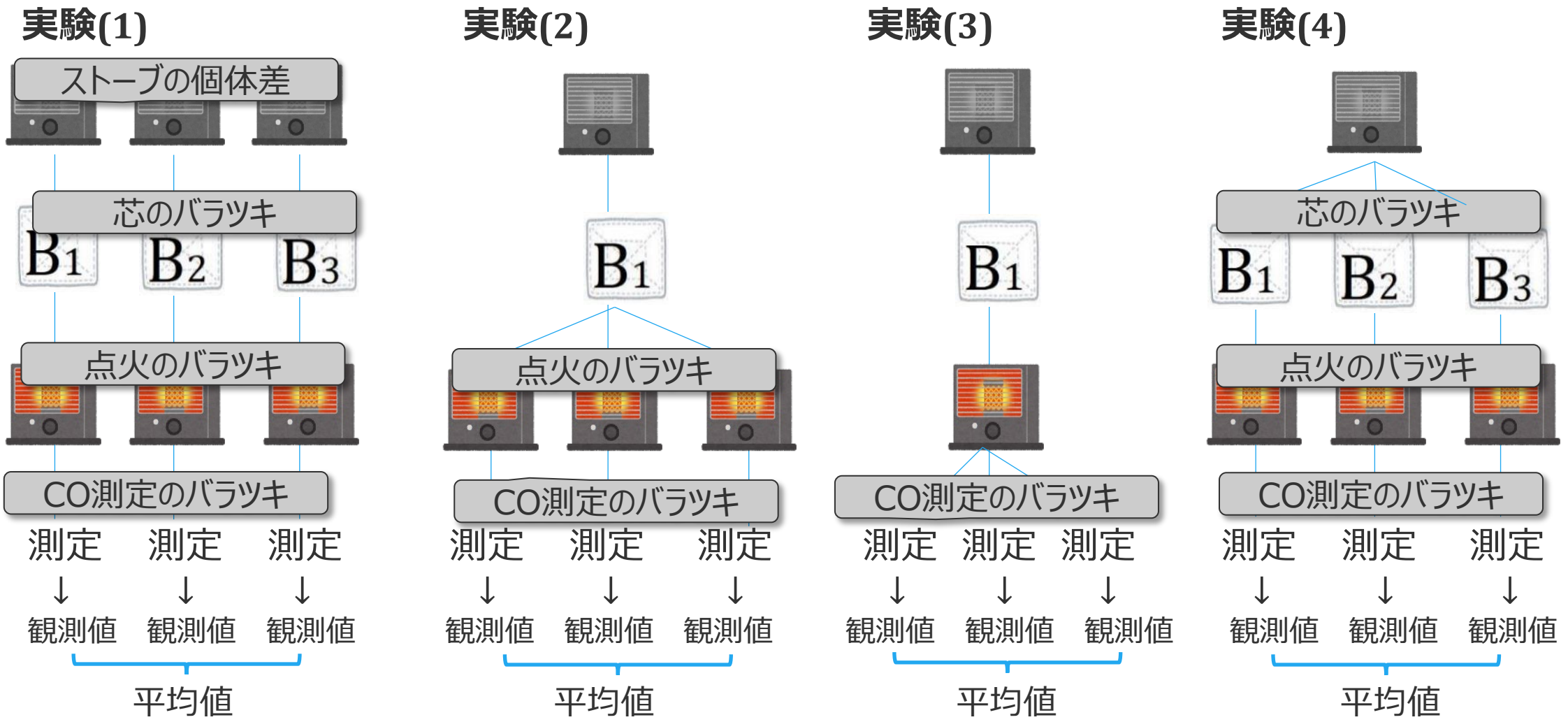


「繰り返し誤差」に含まれるバラツキ要因



繰り返し誤差の大きさ（誤差分散）は、実験(3) ＜ (2) ＜ (4) ＜ (1) になると期待される

「繰り返し誤差」に含まれるバラツキ要因



繰り返し誤差の大きさ（誤差分散）は、実験(3) ＜ (2) ＜ (4) ＜ (1) になると期待される

「繰り返し誤差」に含まれるバラツキ要因

実験(5)

対応がある
（ブロック）

芯のバラツキ　点火のバラツキ　測定のバラツキ

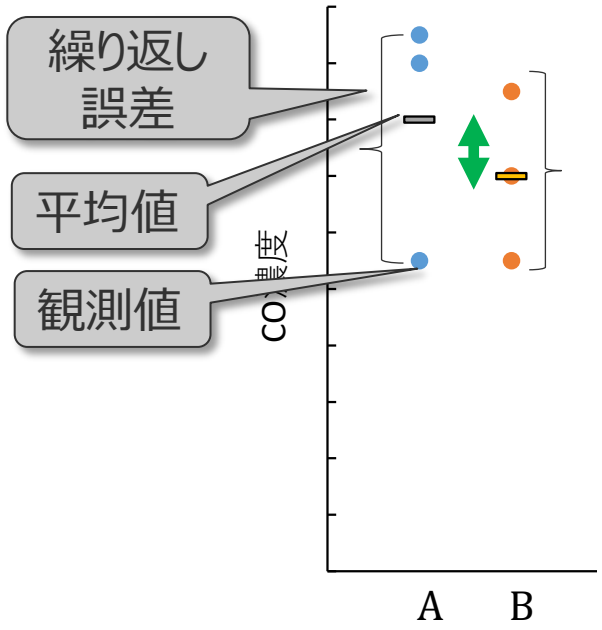
A_1 B_1 A_2 B_2 A_3 B_3

測定 → 観測値　測定 → 観測値　測定 → 観測値　測定 → 観測値　測定 → 観測値　測定 → 観測値

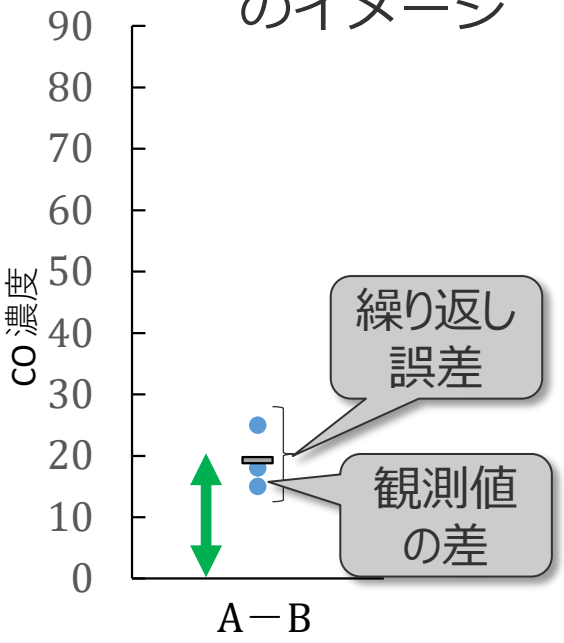
差　差　差

水準 A と水準 B の間には対応がある（ブロック）
対応のある水準 A と水準 B の測定値の「差」を解析
1 台のストーブを使うので、**ストーブの個体差**の影響なし
（第 1 部、§3.5
「対応のある場合の平均値の差の t 検定」 を参照）

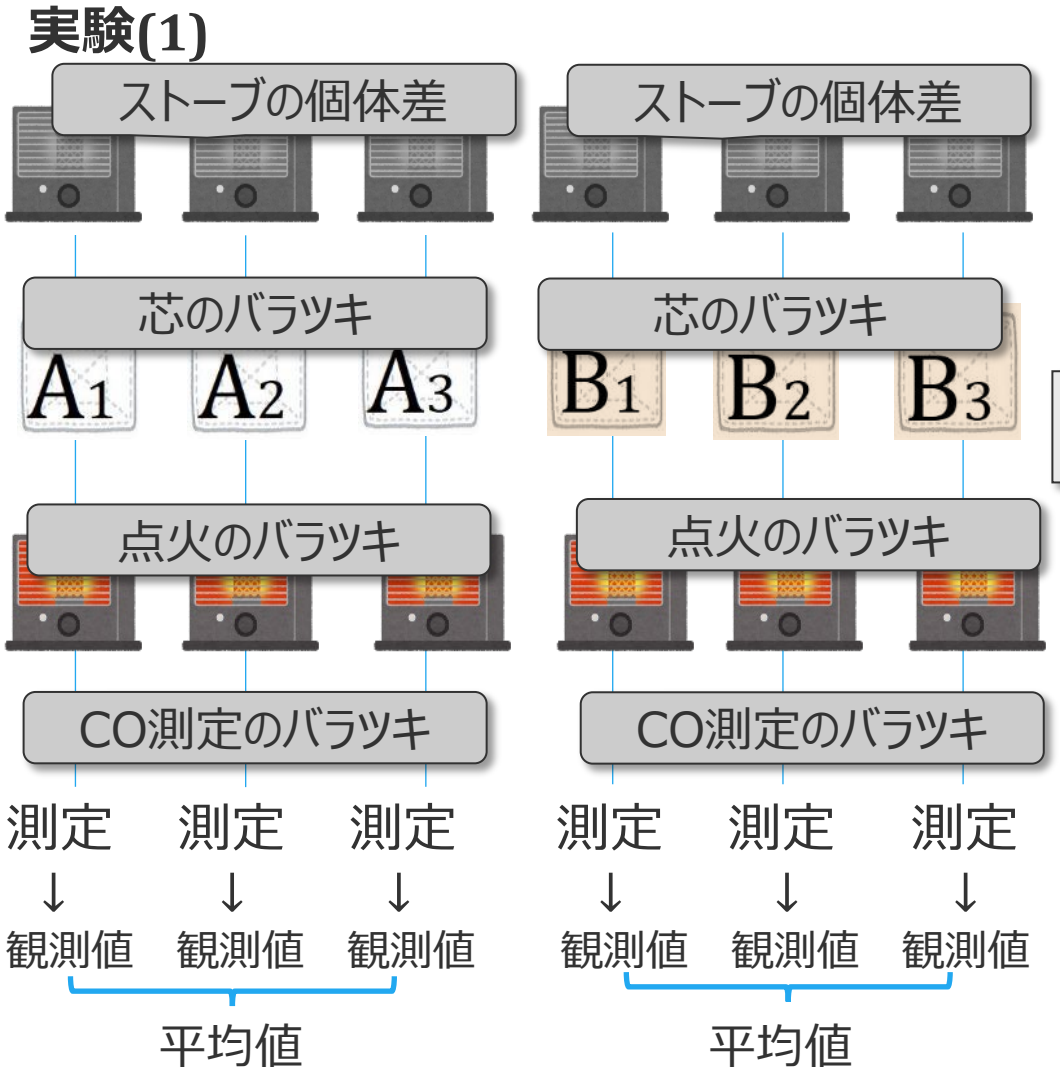
実験(1)～(4)のイメージ



実験(5)
のイメージ



「平均値の差」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因



実験データの解析の基本
「繰り返し誤差」に比べて，
「平均値の差」が統計的に意味があるか判断する

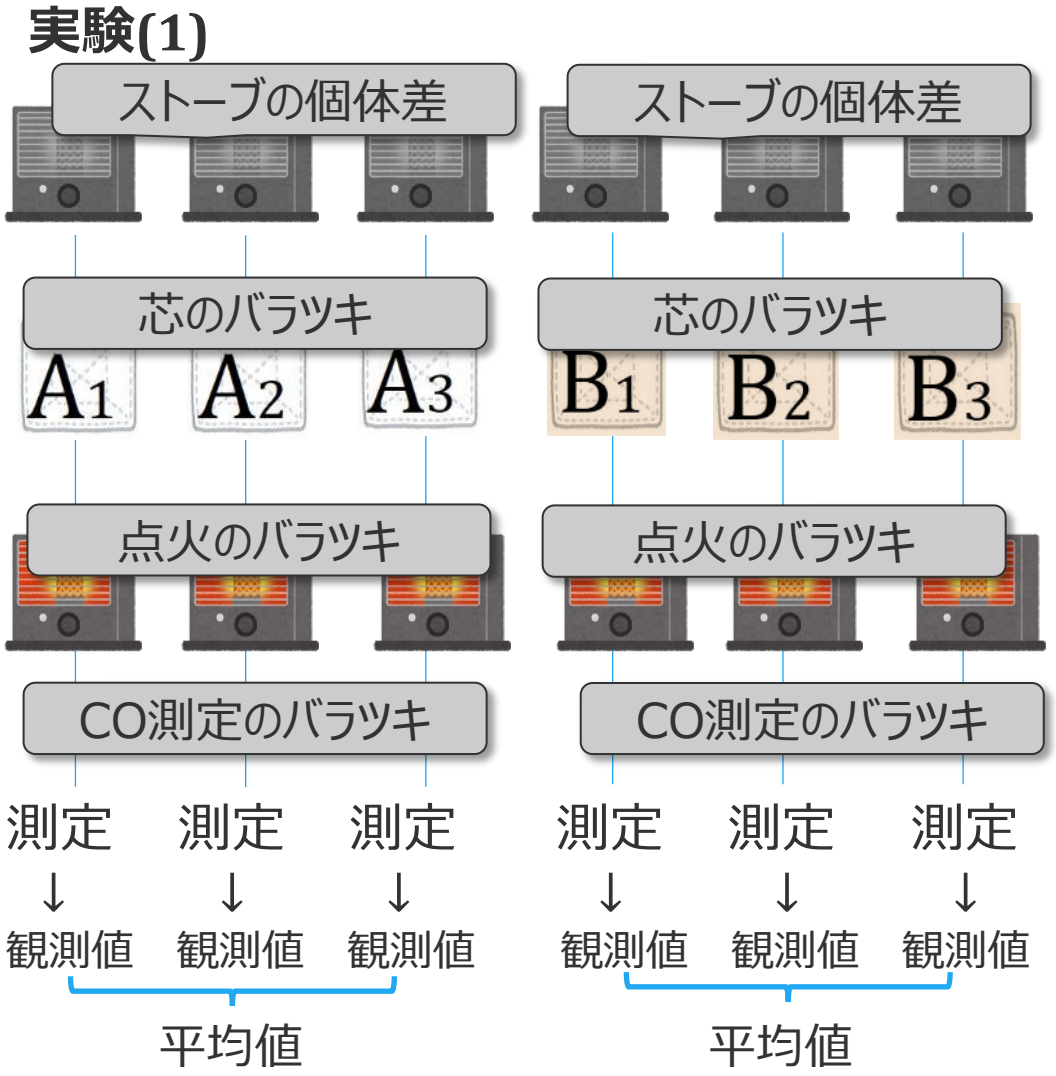
↓両者の比を考える

$$\frac{\text{平均値の差}}{\text{繰り返し誤差}}$$

この比が十分大きければ平均値の差に意味がある

「平均値の差」と「繰り返し誤差」に
同じバラツキ要因が含まれることにより、
比の大きさを正しく評価できる
（意図的に一方のバラツキ要因を除くと
比の大きさを正しく評価できない）

「平均値の差」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因



平均値の差

石油ストーブの個体差
芯のバラツキ
点火のバラツキ
CO測定のバラツキ

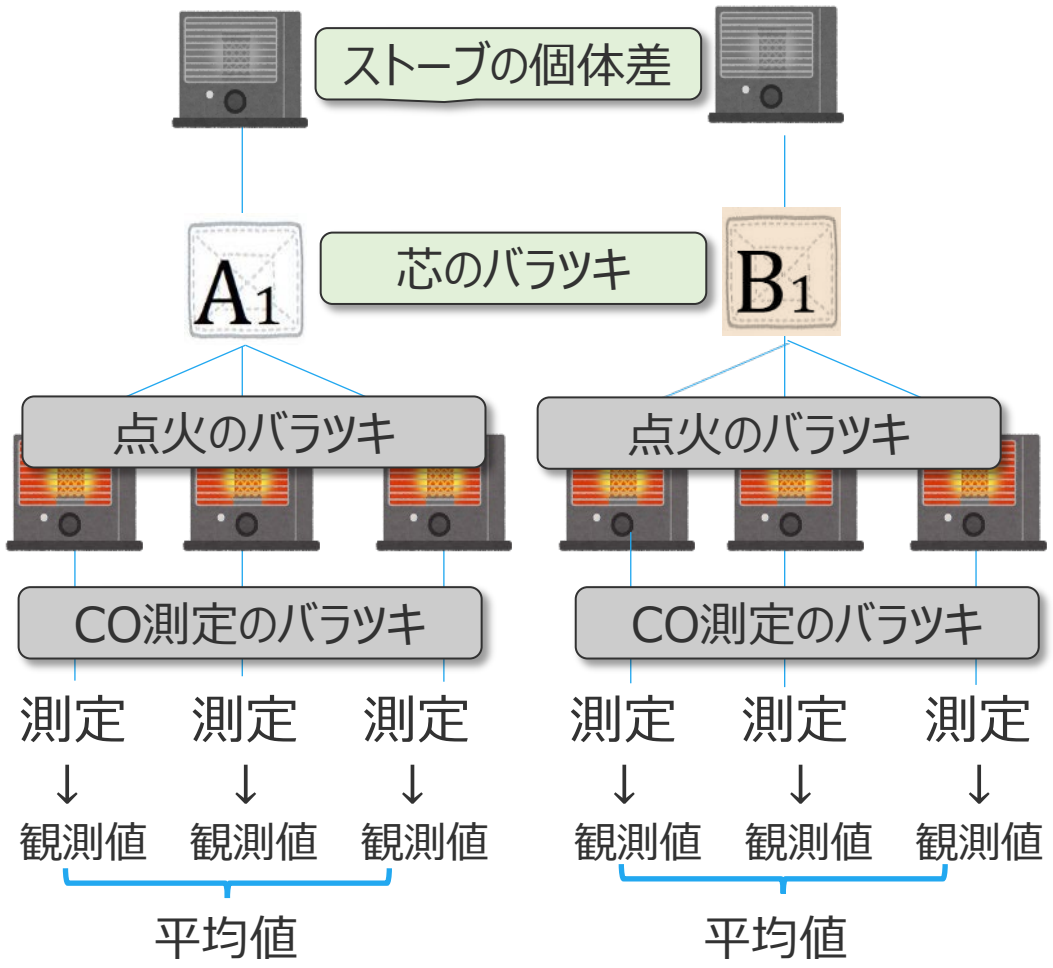
繰り返し誤差

石油ストーブの個体差
芯のバラツキ
点火のバラツキ
CO測定のバラツキ

「平均値の差」と「繰り返し誤差」の両方に、
同じバラツキ要因を含む
芯 A, B の平均値の差を正しく評価できる

「平均値の差」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因

実験(2)



平均値の差

石油ストーブの個体差
芯のバラツキ
点火のバラツキ
CO測定のバラツキ

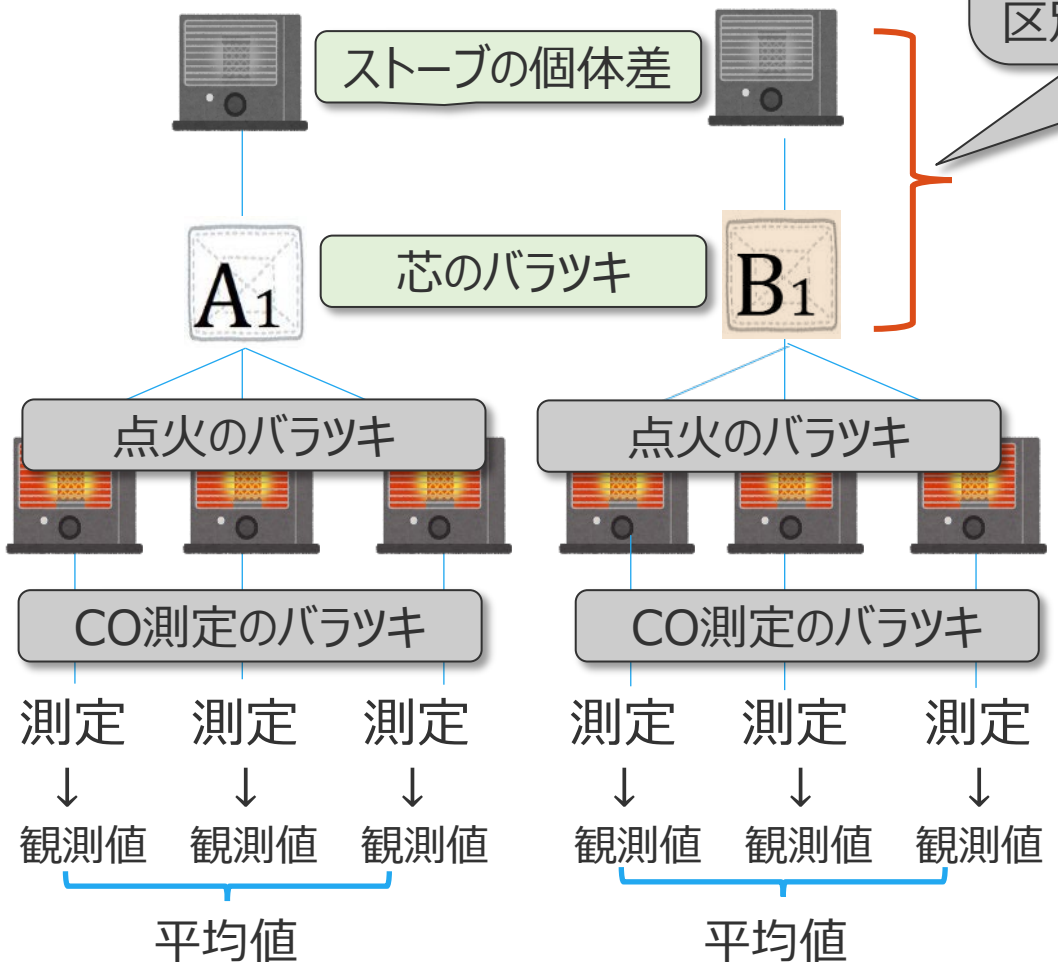
繰り返し誤差

~~石油ストーブの個体差~~
~~芯のバラツキ~~
点火のバラツキ
CO測定のバラツキ

「平均値の差」と「繰り返し誤差」の両方に、
同じバラツキ要因を含まない
芯の差とストーブの差を区別できない
芯 A, B の平均値の差を正しく評価できない

「平均値の差」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因

実験(2)



平均値に差があった場合、
芯 A,B の差か
石油ストーブの個体差か、
区別できない

平均値の差

石油ストーブの個体差
芯のバラツキ
点火のバラツキ
CO測定のバラツキ

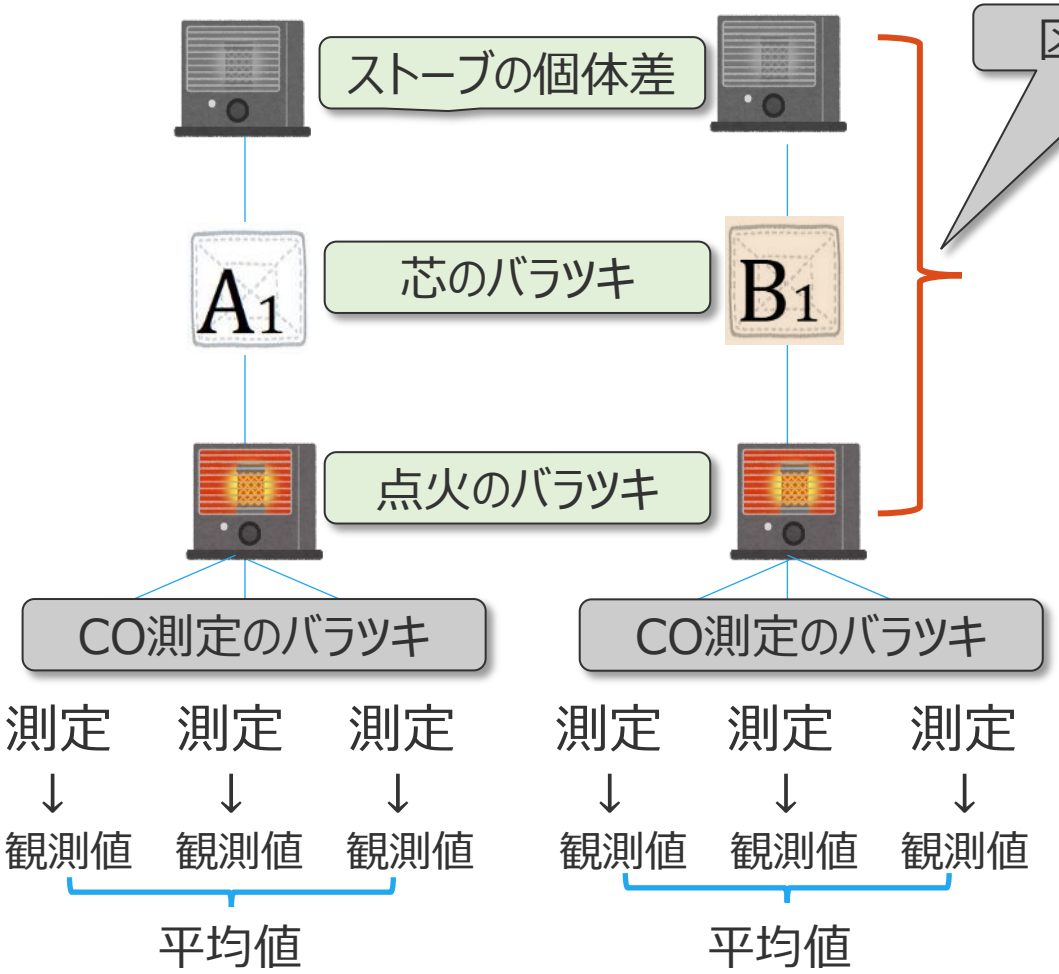
繰り返し誤差

~~石油ストーブの個体差~~
~~芯のバラツキ~~
点火のバラツキ
CO測定のバラツキ

「平均値の差」と「繰り返し誤差」の両方に、
同じバラツキ要因を含まない
芯の差とストーブの差を区別できない
芯 A, B の平均値の差を正しく評価できない

「平均値の差」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因

実験(3)



平均値の差

繰り返し誤差

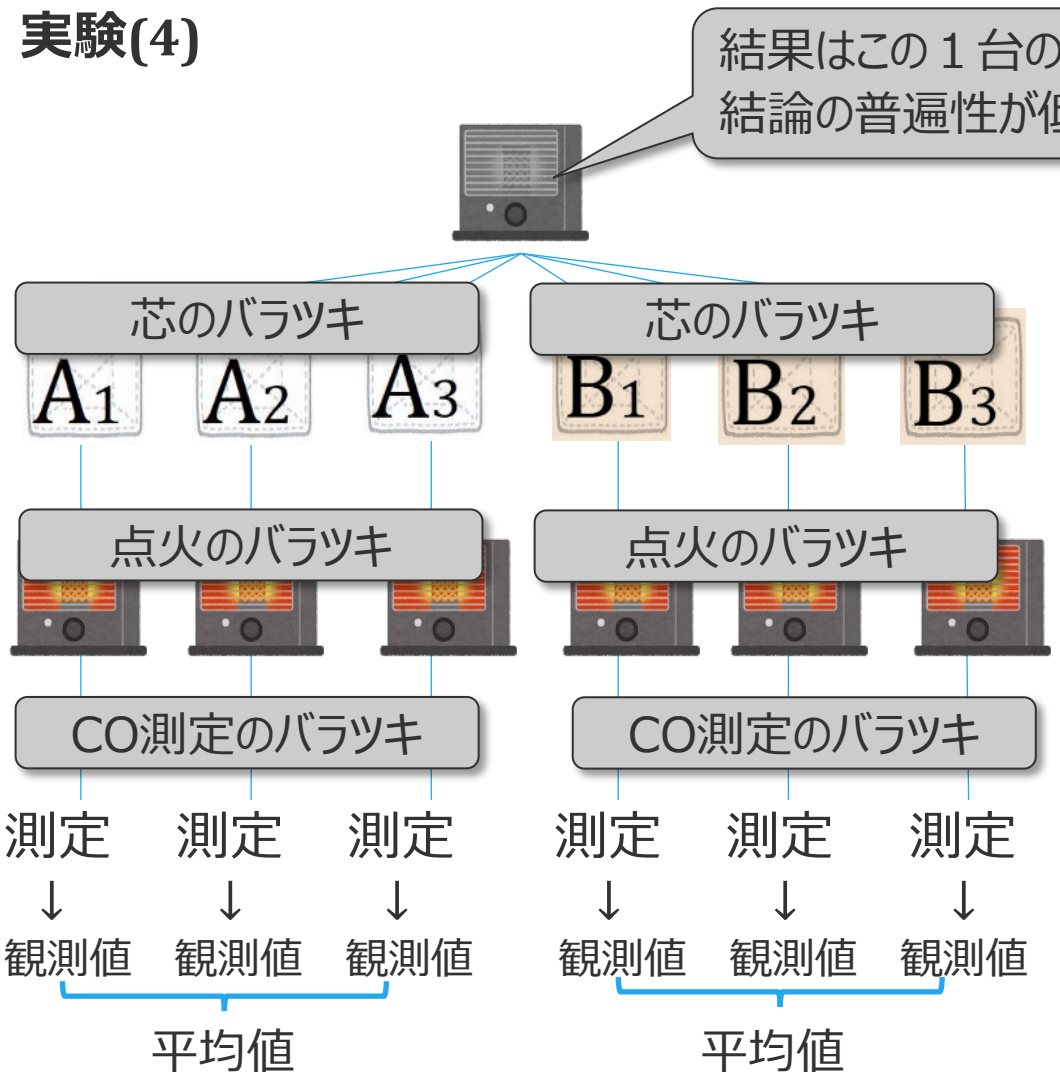
石油ストーブの個体差
芯のバラツキ
点火のバラツキ
CO測定のバラツキ

~~石油ストーブの個体差~~
~~芯のバラツキ~~
~~点火のバラツキ~~
CO測定のバラツキ

「平均値の差」と「繰り返し誤差」の両方に、
同じバラツキ要因を含まない
芯の差、ストーブの差、点火の差を区別できない
芯 A, B の平均値の差を正しく評価できない

「平均値の差」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因

実験(4)



平均値の差

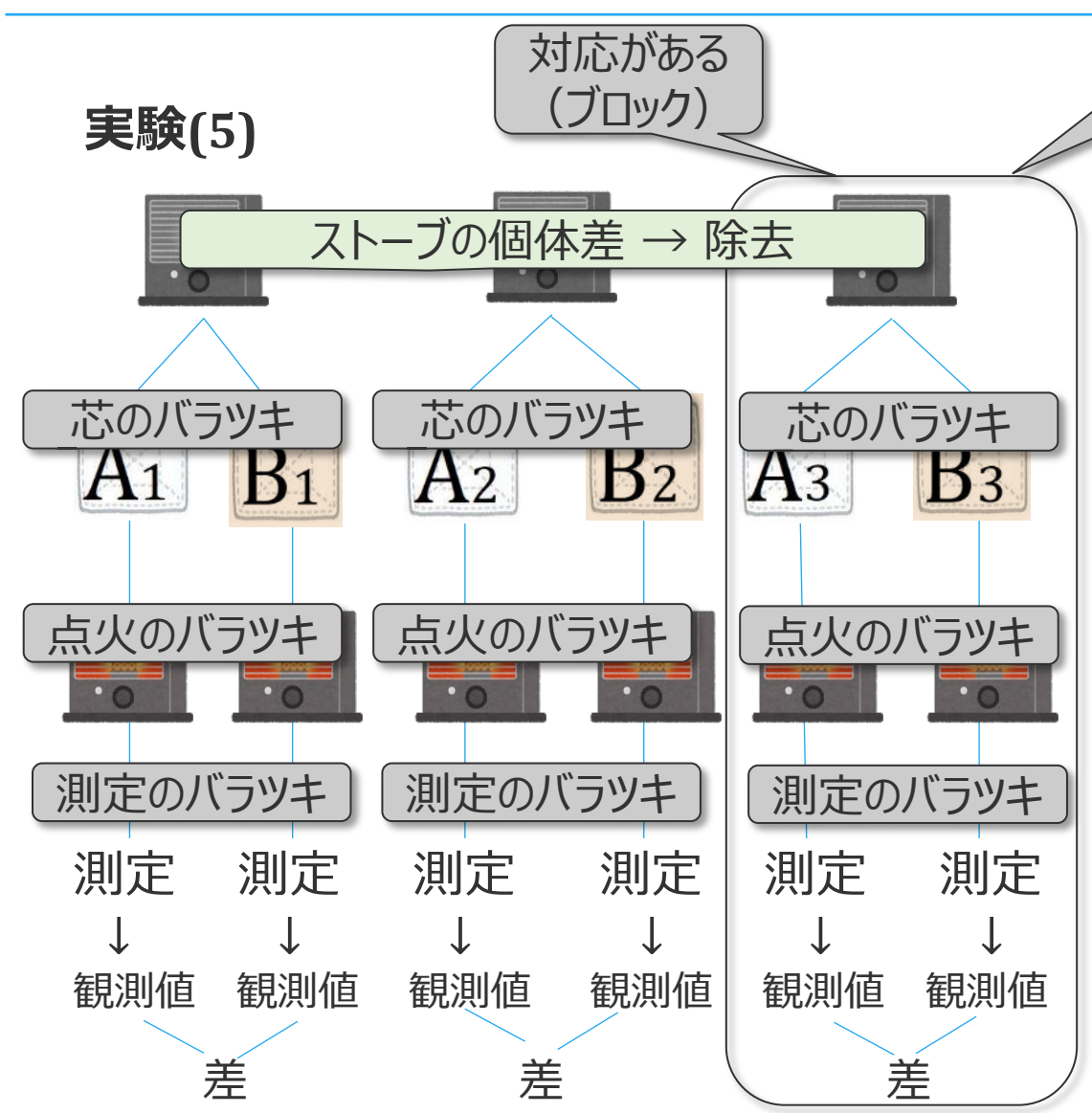
繰り返し誤差

~~石油ストーブの個体差~~
芯のバラツキ
点火のバラツキ
測定のバラツキ

~~石油ストーブの個体差~~
芯のバラツキ
点火のバラツキ
測定のバラツキ

「平均値の差」と「繰り返し誤差」の両方に、
同じバラツキ要因を含む
芯 A, B の平均値の差を正しく評価できる

「差の平均値」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因



除去される

~~石油ストーブの個体差~~
芯のバラツキ
点火のバラツキ
測定のバラツキ

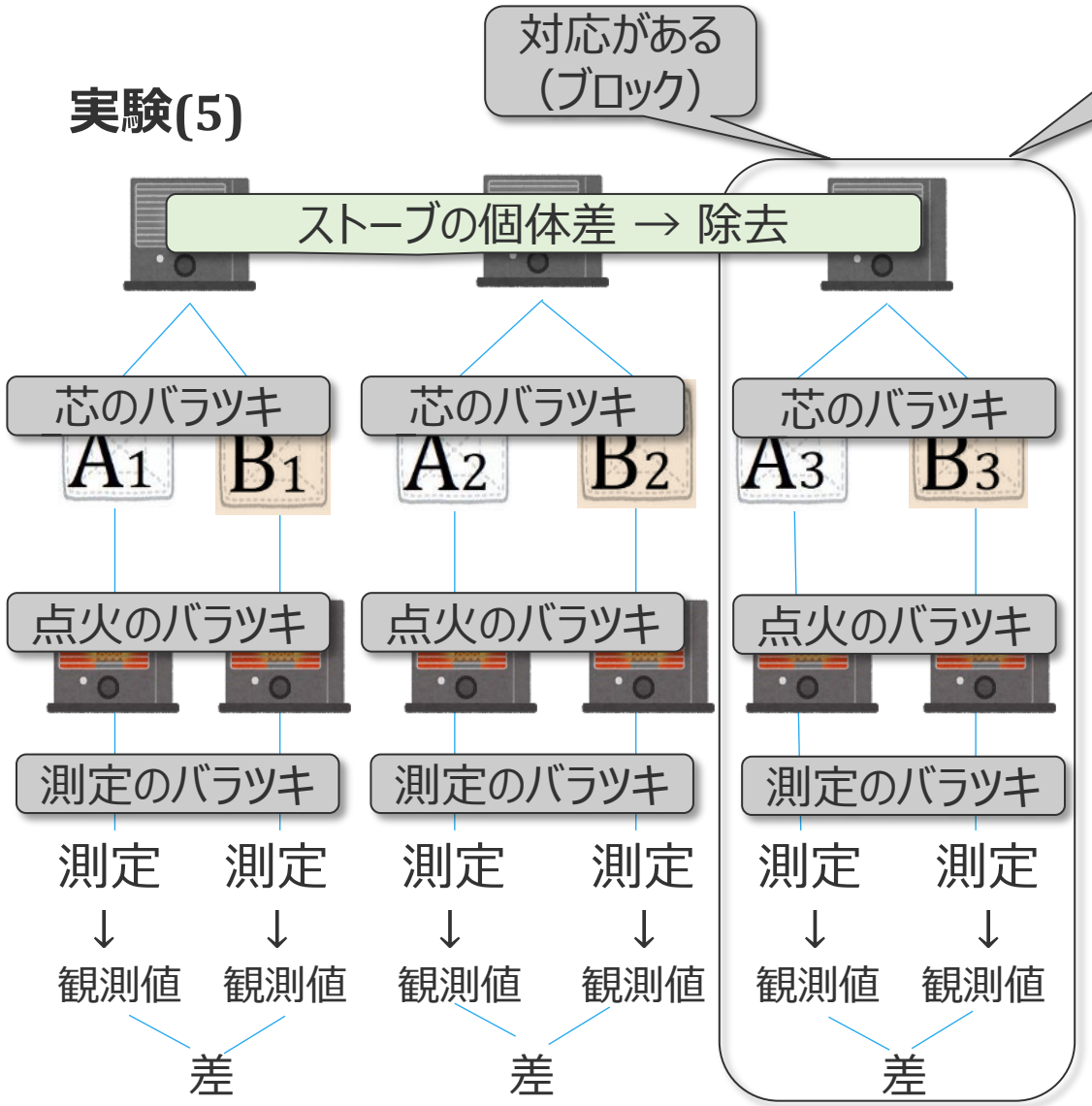
差の平均値

繰り返し誤差

~~石油ストーブの個体差~~
芯のバラツキ
点火のバラツキ
測定のバラツキ

（第 1 部 §3.5「対応のある場合の平均値の差の t 検定」）

「差の平均値」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因



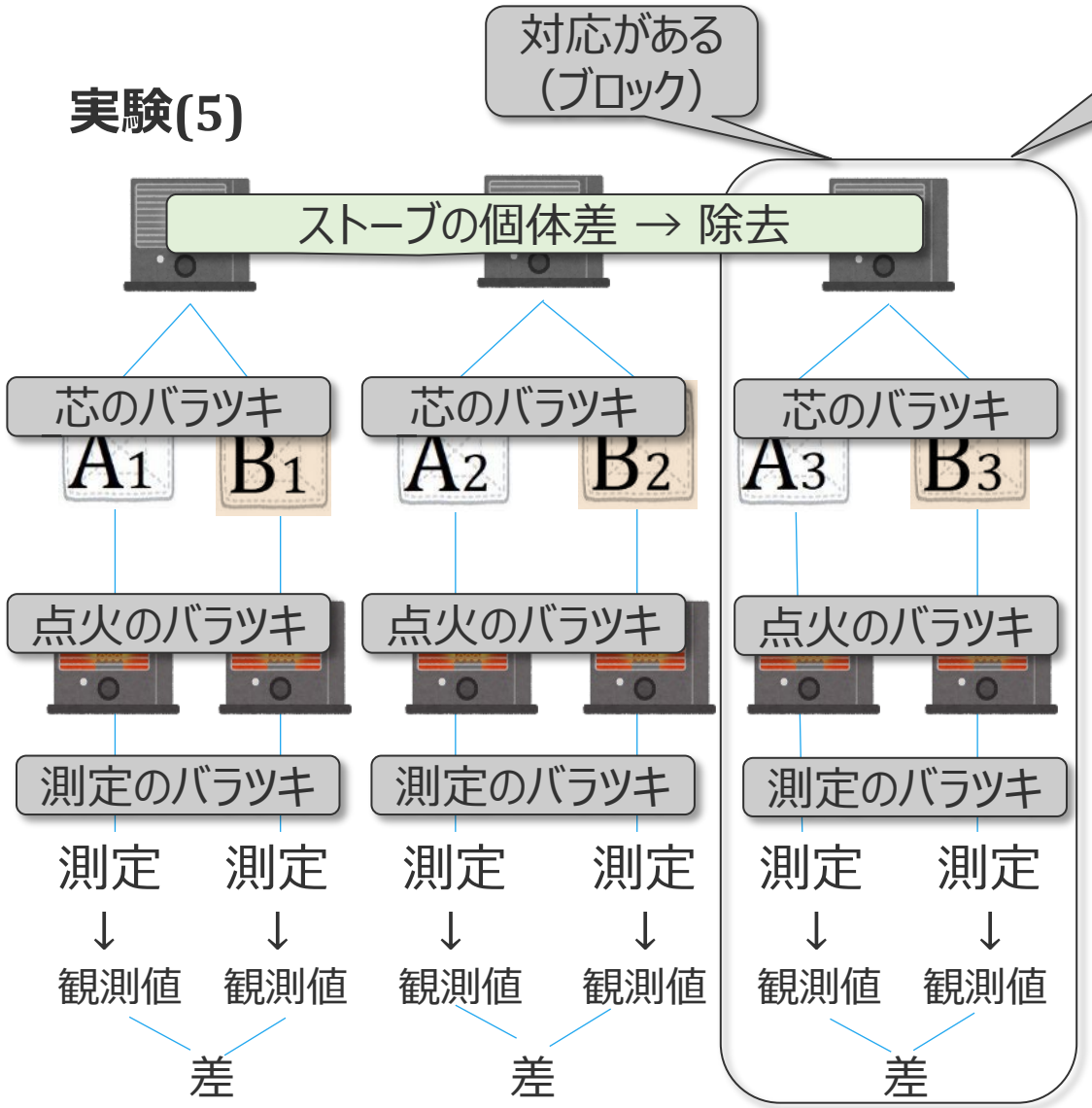
観測値の差を取ると、
ストーブの個体差の影響は、
観測値の差を取ると除去される

芯	観測値		
	平均的なストーブに付けた場合	ストーブ 1 に付けた場合（＋ 1 の個体差）	ストーブ 2 に付けた場合（－ 2 の個体差）
A_3	19	20	17
B_3	14	15	12
差	5	5	5

（第 1 部 §3.5「対応のある場合の平均値の差の t 検定」）

「差の平均値」と「繰り返し誤差」のバラツキ要因

実験(5)



除去される

~~石油ストーブの個体差~~
芯のバラツキ
点火のバラツキ
測定のバラツキ

差の平均値

繰り返し誤差

~~石油ストーブの個体差~~
芯のバラツキ
点火のバラツキ
測定のバラツキ

「差の平均値」と「繰り返し誤差」の両方に、
同じバラツキ要因を含む
芯 A, B の差の平均値を正しく評価できる

(第 1 部 §3.5「対応のある場合の平均値の差の t 検定」)

実験誤差の適切な選び方

●実験方法の比較

実験(1) (4) (5)

芯の評価ができる

実験(2) (3)

芯の評価ができない

		実験				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
実験に使用した個数、回数（水準あたり）（ ( ) 内は計）	ストーブ	3	1	1	(1)	(3)
	芯	3	1	1	3	3
	点火回数	3	3	1	3	3
	測定回数	3	3	3	3	3
「平均値の差」に含まれるバラツキ要因 (5) は「差の平均値」	ストーブの個体差	○	○	○	×	△
	芯のバラツキ	○	○	○	○	○
	点火のバラツキ	○	○	○	○	○
	CO測定のバラツキ	○	○	○	○	○
「繰り返し誤差」に含まれるバラツキ要因	ストーブの個体差	○	×	×	×	×
	芯のバラツキ	○	×	×	○	○
	点火のバラツキ	○	○	×	○	○
	CO測定のバラツキ	○	○	○	○	○

表示 0.7.2
5 つの方法の違いの比較（改変）

実験誤差の適切な選び方

●実験方法の比較

実験(1) (4) (5)

芯の評価ができる

実験(2) (3)

芯の評価ができない

		実験				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
実験に使用した個数、回数（水準あたり）（ ( ) 内は計）	ストーブ	3	1	1	(1)	(3)
	芯	3	1	1	3	3
	点火回数	3	3	1	3	3
	測定回数	3	3	3	3	3
「平均値の差」に含まれるバラツキ要因 (5) は「差の平均値」	ストーブの個体差	○	○	○	×	△
	芯のバラツキ	○	○	○	○	○
	点火のバラツキ	○	○	○	○	○
	CO測定のバラツキ	○	○	○	○	○
「繰り返し誤差」に含まれるバラツキ要因	ストーブの個体差	○	×	×	×	×
	芯のバラツキ	○	×	×	○	○
	点火のバラツキ	○	○	×	○	○
	CO測定のバラツキ	○	○	○	○	○

表示 0.7.2
5 つの方法の違いの比較（改変）

実験誤差の適切な選び方

●実験方法の比較

実験(1) と (4)

繰り返し誤差は (1)＞ (4)
(4) は差を検出しやすい

結論の普遍性は (1)＞ (4)

実務家の立場からは
(1) が優れている

		実験 (1)	(2)	(3)	(4)	(5)
実験に使用した個数、回数（水準あたり）（ ( ) 内は計）	ストーブ	3	1	1	(1)	(3)
	芯	3			3	3
	点火回数	3			3	3
	測定回数	3	3	3	3	3
「平均値の差」に含まれるバラツキ要因 (5) は「差の平均値」	ストーブの個体差	○	○	○	×	△
	芯のバラツキ	○	○	○	○	○
	点火のバラツキ	○	○	○	○	○
	CO測定のバラツキ	○	○	○	○	○
「繰り返し誤差」に含まれるバラツキ要因	ストーブの個体差	○	×	×	×	×
	芯のバラツキ	○			○	○
	点火のバラツキ	○	○	×	○	○
	CO測定のバラツキ	○	○	○	○	○

結論の普遍性高い

1 台のストーブに限定

差を検出しやすい

表示 0.7.2
5 つの方法の違いの比較（改変）

実験誤差の適切な選び方

●実験方法の比較

実験(5)

芯の評価ができる

繰り返し誤差の減少
結論の適用範囲の拡大
いずれも満足される
（結論の普遍性高い）

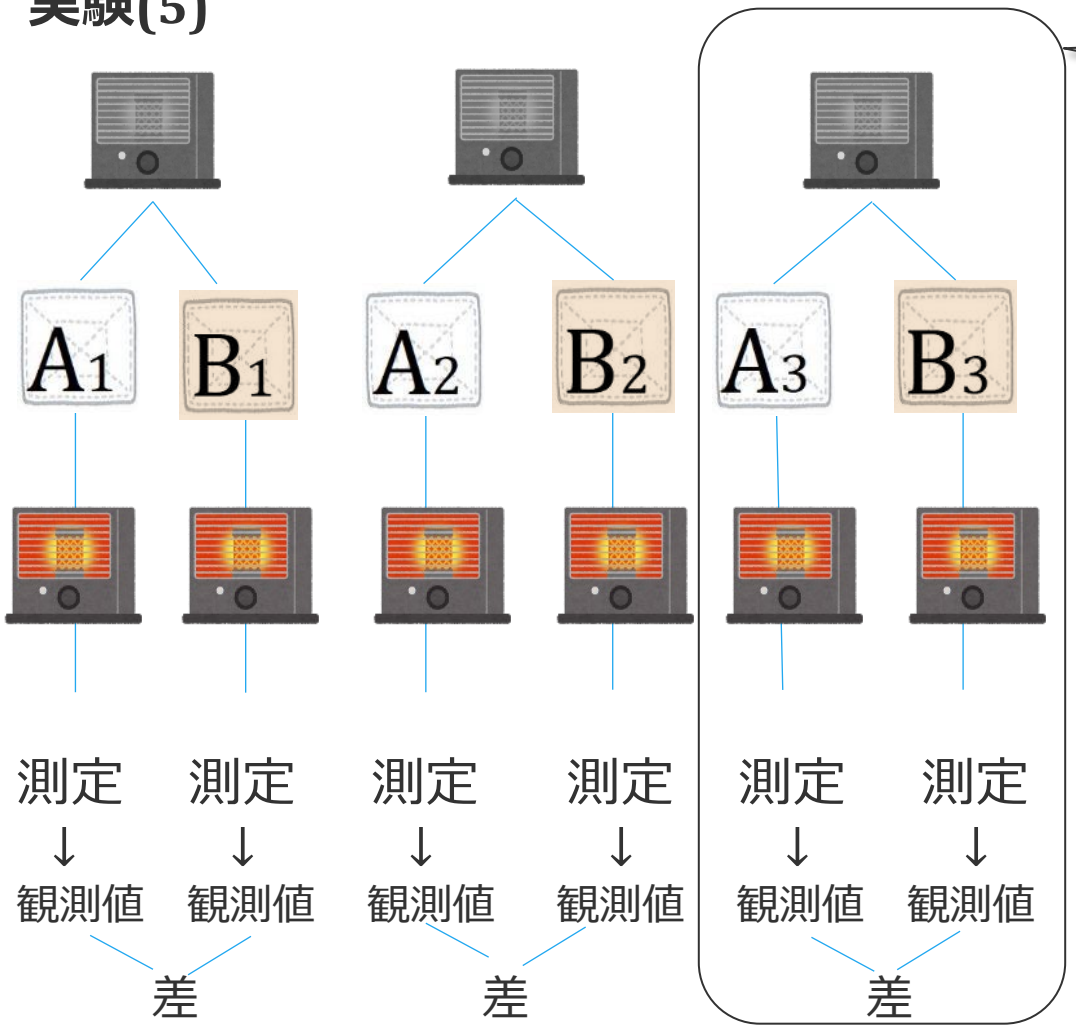
結論の普遍性高い

		実験				
		（1）	（2）	（3）	（4）	（5）
実験に使用した個数、回数（水準あたり）（（ ）内は計）	ストーブ	3	1	1	(1)	(3)
	芯	3	1	1	3	3
	点火回数	3	3	1	3	3
	測定回数	3	3	3	3	3
「平均値の差」に含まれるバラツキ要因 (5) は「差の平均値」	ストーブの個体差	○	○	○	×	△
	芯のバラツキ	○	○	除去される		○
	点火のバラツキ	○	○	○	○	○
	CO測定のバラツキ	○	○	○	○	○
「繰り返し誤差」に含まれるバラツキ要因	ストーブの個体差	○	×	×	×	×
	芯のバラツキ	○		誤差分散を小さくできる		○
	点火のバラツキ	○	○	×	○	○
	CO測定のバラツキ	○	○	○	○	○

表示 0.7.2
5 つの方法の違いの比較
（改変）

実験誤差の適切な選び方

実験(5)



対応がある（ブロック）

ストーブ間の差が非常に大きい場合、
実験(1)では芯の差が検出できなくても
実験(5)では芯の差を検出できる場合がある
「どのストーブでも、CO 発生量は 芯A＞芯B」ということが分かれば，これは貴重な情報
このような発見は，実験(1) からは得られない

水準数が２：第１部　§3.5 p.152
　「対応のある場合の平均値の差の t 検定」p.153
水準数が３以上：第２部　§3.1
　「質的因子の乱塊法」p.109 以降で詳しく説明

まとめ

●統計手法

誤差が含まれるデータから，誤差に惑わされないで正しい結論を導き出す方法

●Fisher の３原則（実験計画法の基本原則）

反復　　：誤差をどのように考えるか（誤差の評価）
　　誤差の考え方（悪い影響を与えないための配慮、誤差の減少、必要な誤差）
ランダム化：ランダム化の必要性
局所管理　：乱塊法によって誤差の影響を小さくする
　　乱塊法が考え出された過程を説明

●実験に存在する誤差

実験には複数の誤差が存在し，関連している
それらを考えて，より妥当な実験を計画する

実験をするときに読み返して、本当に自分のものとし，十分に使いこなせるようになること

- 参考文献

  奥野忠一・芳賀敏郎（1969）実験計画法、培風館

- 作成　片瀬雅彦
- 監修　松本一彦、長谷文雄
- 作成時期　2019年4月1日
- 改訂　2019年7月10日、2023年6月14日