

CS 知的システム演習

# 実験計画法入門

---

松吉 俊

# 実験計画法

---

1. はじめに
2. 信頼性と誤差
3. 思い付きから報告までの流れ
  - 実験に関わる変数
  - 尺度
  - 水準と標本抽出
  - 実験設定の有効な組み合わせと順序
4. まとめ

# 実験計画法とは

---

## ● Design of Experiments

- Experiment: 実験、試験、試行、調査、挑戦、試合、上演、など
- Design: 美しく整えること
- 何か調べたいことがある時に、  
効率の良い計画を事前にデザインすること
  - 「効率の良い」
    - 実験回数
    - 時間
    - 費用

# 科学的信頼性・妥当性

---

- 実験結果から分かったことを皆に納得させるには、実験とその考察に科学的信頼性や妥当性が必要
- よくある批判：
  - たまたまではないですか？
  - 実験方法に誤りがあったのではないですか？
  - 一般性がありますかね？
  - 何と比較して有意なんですか？
  - 被験者が慣れたんでしょう？
  - 作為を感じる
  - 誤差ですよ

# 誤差

## ● 次の2種類に分類される (確率統計及び演習の復習)

### ● 系統誤差

- ・ 実験結果に規則的なずれを与える  
例) 斜め上から目盛りを読む  
1.2倍に伸びた物差しを使う  
温度、湿度、気圧、土地、体調など

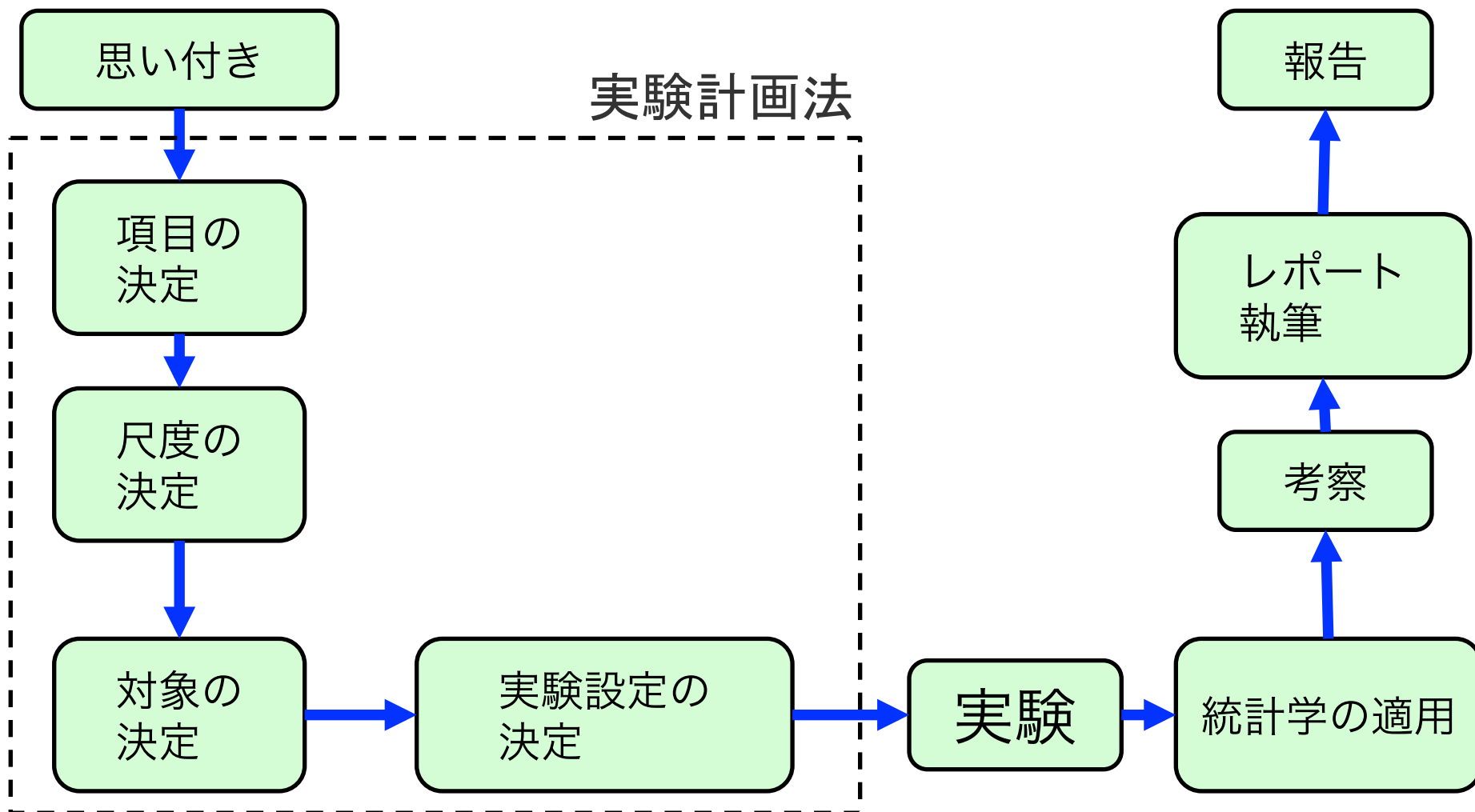
実験計画法  
による統制!

### ● 偶然誤差

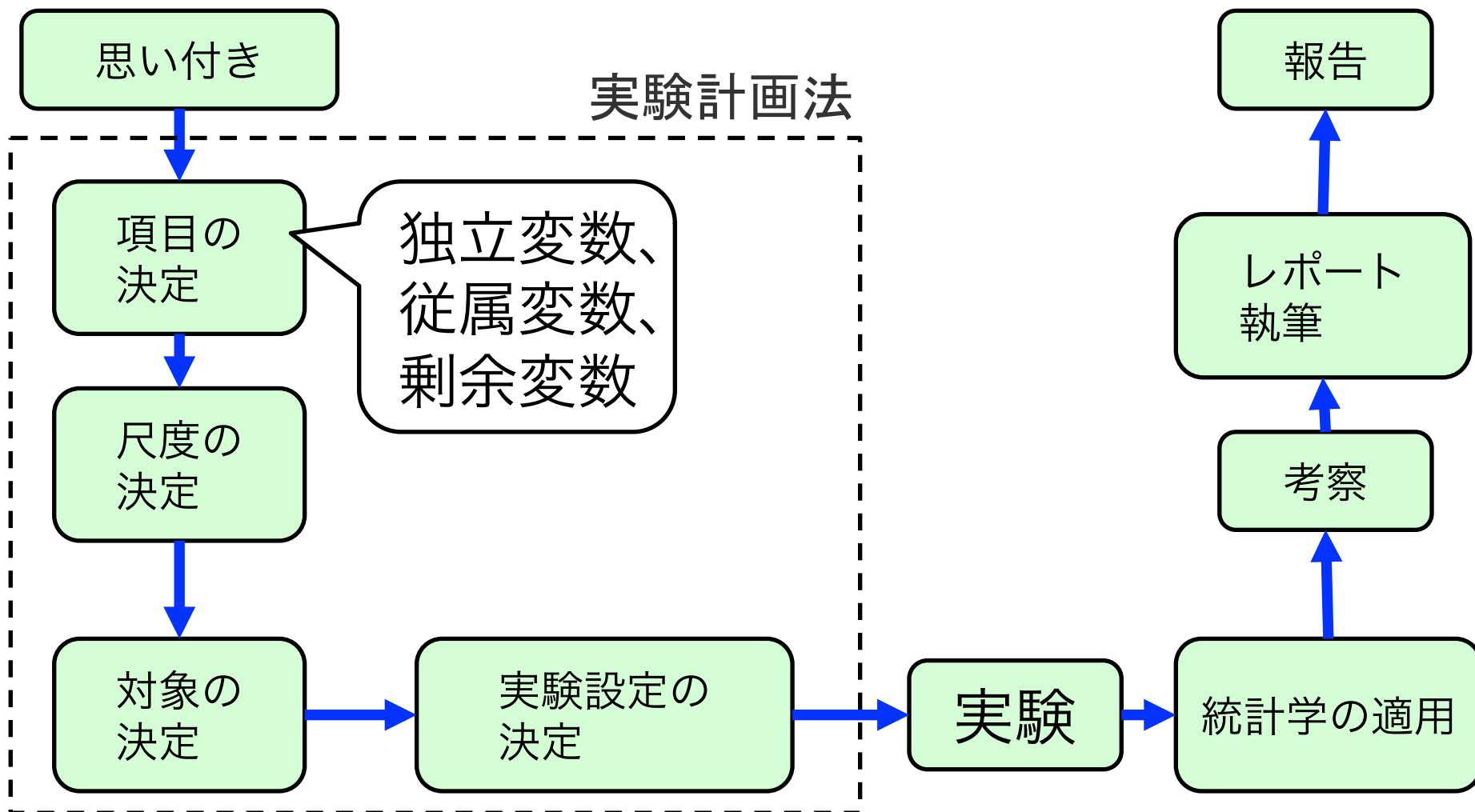
- ・ まったくの偶然による不規則なずれを与える  
例) サイコロを投げて1の目が出る割合を調べる  
スポイトで1滴取った溶液の濃度を精密に測る  
いわゆる運

統計学の適用!

# 思い付きから報告までの流れ



# 思い付きから報告までの流れ



# 実験に関わる変数

---

- Variable: 変数、変量

- 独立変数

  - 実験者が意識的に操作する要因

    - 例) 薬品の量・種類、日照時間、アンケート地、ある状態に対するロボットの行動

- 従属変数

  - 測定する項目

    - 例) 収穫量、好き嫌いの度合い、任意の球団、ゴールするまでの時間

- 剰余変数

  - 独立変数以外に、従属変数に影響を与える項目



# 実験に関わる変数

- Variable: 変数、変量

- 独立変数

- 実験者が意識的に操作する要因

- 例) 薬品の量・種類、日照  
ある状態に対するロボ

実験目的に従って、  
独立変数と従属変数を  
決定する

- 従属変数

- 測定する項目

- 例) 収穫量、好き嫌いの度合い、任意の球団、  
ゴールするまでの時間

- 剰余変数

- 独立変数以外に、従属変数に影響を与える項目

# イヤらしい剰余変数

## ● 剰余変数は統制しなければならない

● 実験の妥当性を保証するため

## ● 作物収穫の例:

● 独立変数: 肥料A, B, C

● 従属変数: 作物の収穫量

● 剰余変数:

- 気温、湿度、気圧、日照時間、降雨量
- 畑面積、土地の性質、緯度、経度、標高
- 作業者、作業人数、農作業時間、使用可能な農業機械
- 順番
- 作業者のやる気、  
反復による疲労

肥料	A	B	C
収穫量(t)	<b>30</b>	15	10
平均気温(°C)	25	18	17

# 剰余変数の主な統制方法

---

## 1. 恒常化

- すべての実験で剰余変数の値を一定に保つ  
例) 冷暖房する、同じ土地を使う、同じ人を雇う

## 2. 無作為化

- 偶然に任せて剰余変数の値を決定する  
例) ランダムな順番、ランダムな降雨量

## 3. 層別化

- 剰余変数をいくつかの層に分け、  
各層でデータを集める  
例) 20代-40代-60代、標高が低-やや高-高

# 演習9

## ● 剰余変数は統制しなければならない

- 実験の妥当性を保証するため

## ● 作物収穫の例:

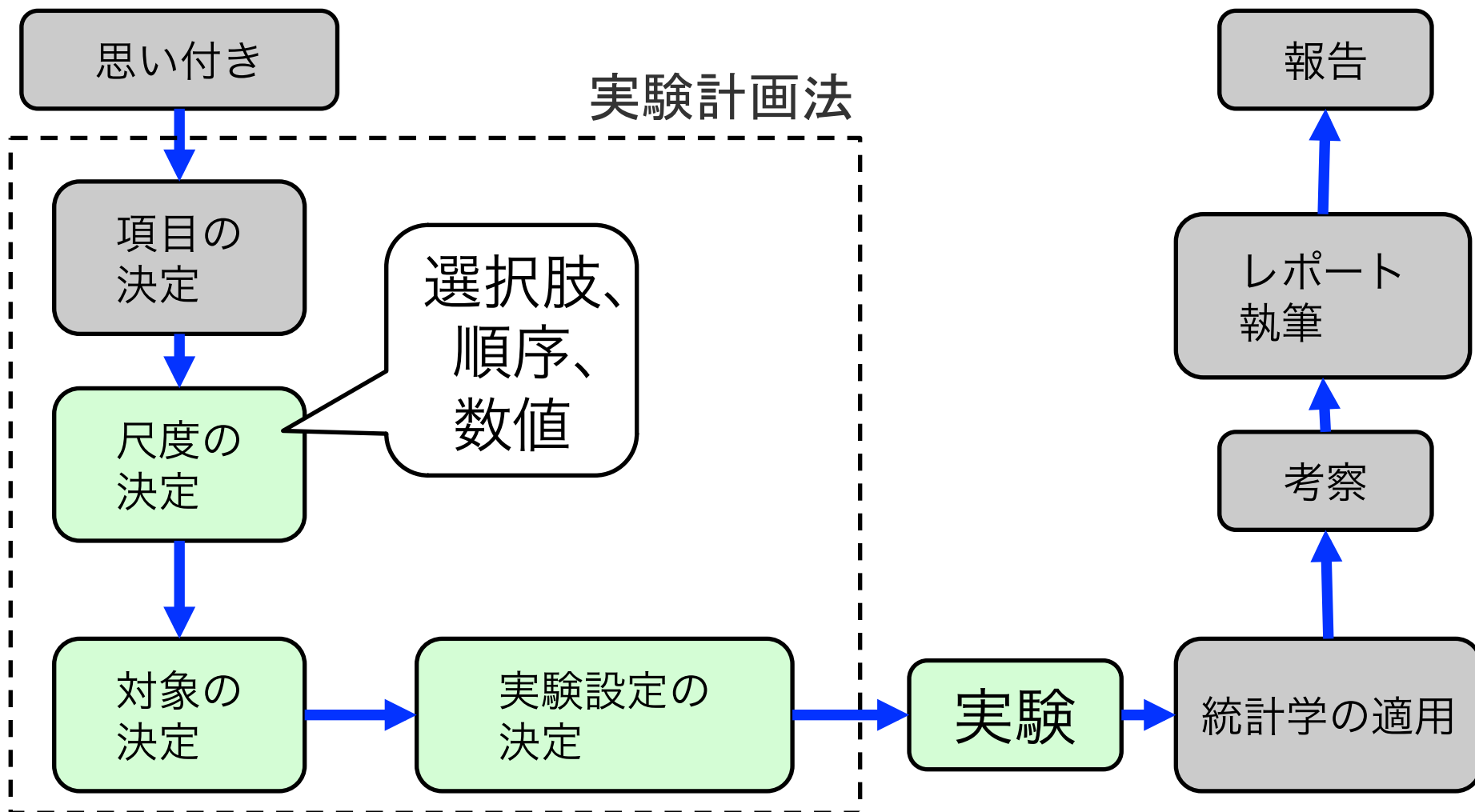
- 独立変数: 肥料A, B, C
- 従属変数: 作物の収穫量
- 剰余変数:

肥料	A	B	C
収穫量(t)	<b>30</b>	15	10
平均気温(°C)	25	18	17

- 気温、湿度、気圧、日照時間、降雨量
- 畑面積、土地の性質、緯度、経度、標高
- 作業者、作業人数、農作業時間、使用可能な農業機械
- 順番
- 作業者のやる気、反復による疲労

恒常化、無作為化、層別化？  
独立変数にすべき？

# 思い付きから報告までの流れ



# 変数の尺度

質的データ

- Scale: 尺度、目盛り、程度

- 名義尺度

- いくつかの名前を選択肢として提示  
例) 好きな球団、好きな音楽のジャンル

最頻値、情報量、 $\chi^2$ 検定

- 順序尺度

- 順序や大小関係を問う  
例) 甘い順に1, 2, 3, ...、好き5-4-3-2-1嫌い

中央値、順位相関係数、マン・ホイットニーの検定

量的データ

- 間隔尺度

- 順序尺度において、間隔の大きさが一定  
例) 温度(20°Cと21°Cの差は、19°Cと20°Cの差に等しい)

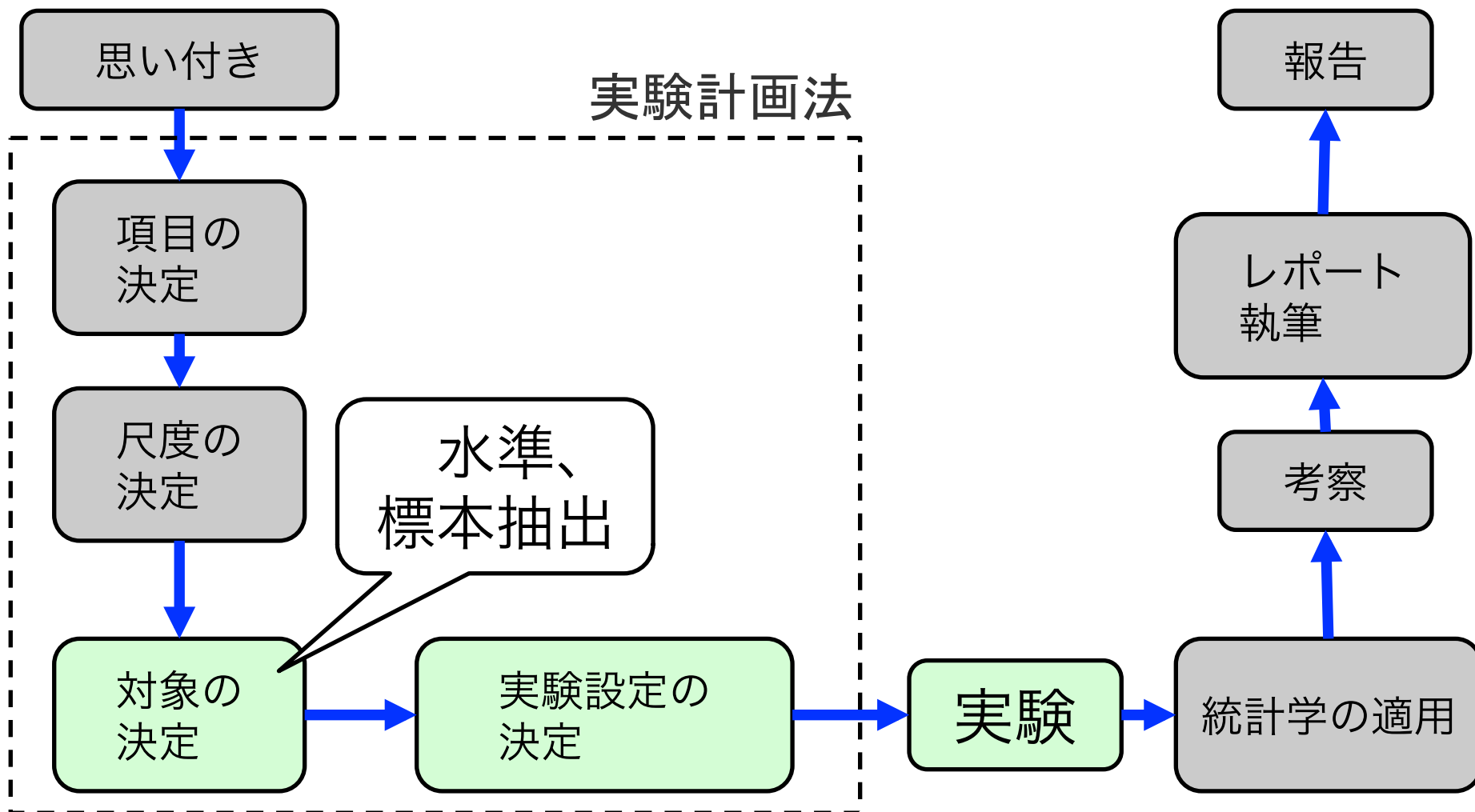
ほとんどの統計量と検定

- 比率尺度

- 間隔尺度において、0からの比率に意味がある  
例) 重さ、長さ、面積、時間

すべての統計量と検定

# 思い付きから報告までの流れ



# 値の水準

---

- Level: 水準、段階
- 実験目的と選んだ尺度に従って、いくつかの水準を決定する
  - 質的データ
    - 例) Aさん、Bさん、Cさん、Dさん、Eさん  
好き5-やや好き4-3-やや嫌い2-嫌い1
  - 量的データ
    - 例) 10°C、12°C、...、40°C  
3g、6g、9g、12g



# 母集団からの標本抽出

---

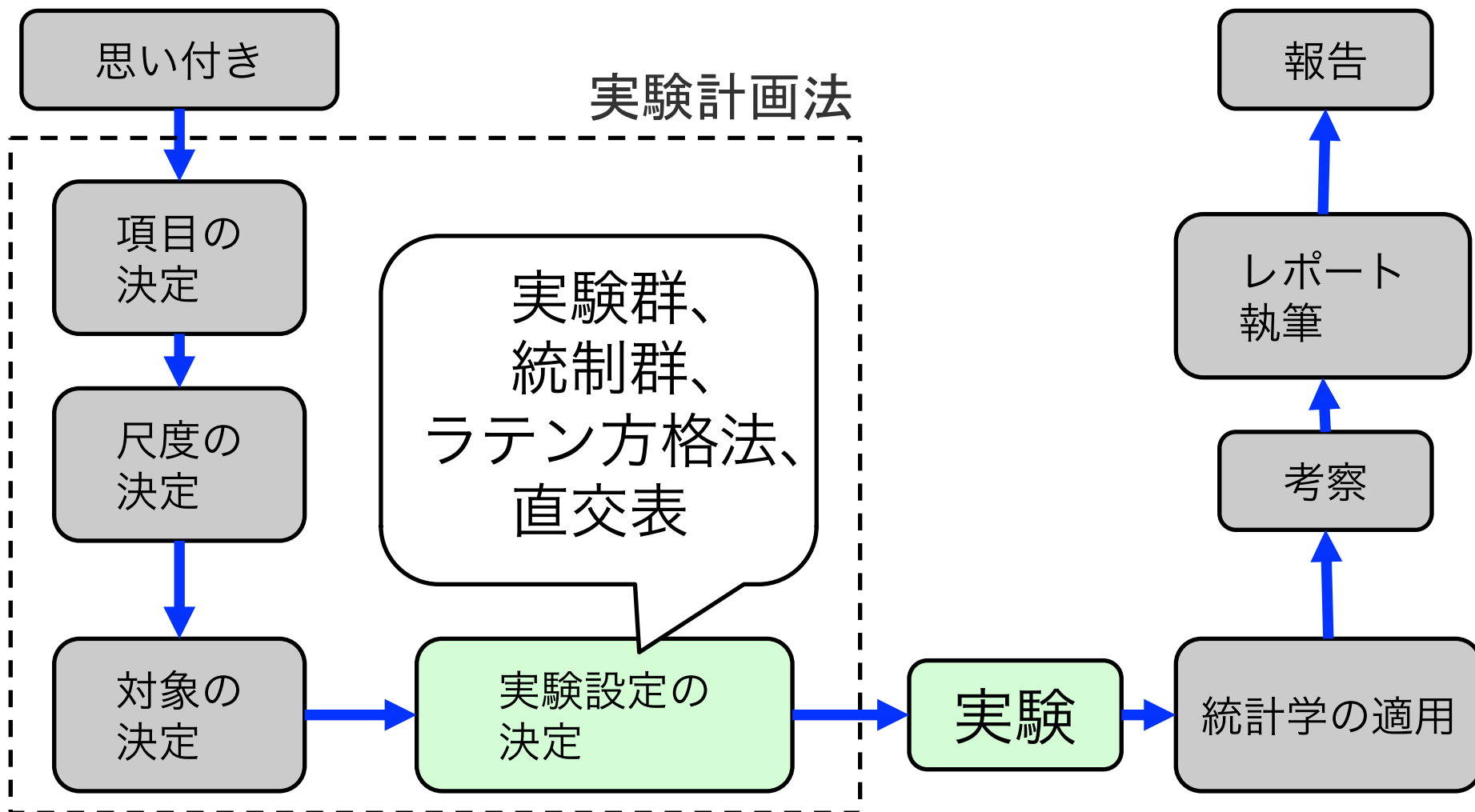
- Sample: 標本、見本、例
- 一般に、全数調査は困難
  - その中のいくつか(or 何人か)を選択して実験し、データ取得後、統計的手法を駆使する  
(確率統計及び演習の復習)
- 標本抽出は、無作為抽出が前提
  - 標本誤差をできるだけ小さくするため
  - 必要ならば、層別化する

# 全数調査って万能？

---

- 理想的な世界では万能
- 現実世界では、以下のような原因により、データの偏り(真値との誤差)が発生しやすい
  - 実験時期の大きなずれ
  - 多数の実験実施者の訓練不足
  - 大量のデータの分析ミス
  - 無回答、作為的回答、他人の回答のコピー

# 思い付きから報告までの流れ



# 実験群と統制群

---

## ● 実験群

- 実験目的に沿った、  
調べたい水準の組み合わせの設定

## ● 統制群

- ある項目以外は、実験群と同水準の設定

## ● 新薬の臨床試験の例:

- 実験群: 新薬を投与
- 統制群: 新薬と見かけが同じだが、  
成分を含まないものを投与。  
部屋、室温、巡回回数などは実験群と同

# 独立変数の水準の組み合わせ

---

- 一般に、独立変数は複数ある
  - それぞれの独立変数はいくつかの水準を持つ
- 従属変数に最も有効な水準の組み合わせを知りたい場合、本来は、すべての組み合わせを試すべき
  - 独立変数が3つ、それぞれ2水準の場合：
$$2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ 通り}$$
  - 測定誤差を小さくするため、何度か同じ設定で実験を実施するとすると、必要な実験回数は想像以上に多くなる

# (狭義の)実験計画法

---

## ● 本来に必要最低限の実験設定と回数を美しくデザインする方法

- 水準のすべての組み合わせを試さない
  - 実験回数を極限まで減らす
    - ・ たいてい、現実的な回数まで減らせる
  - 実験にかかる時間を減らせる
  - 実験にかかる費用も減らせる
1. ラテン方格法により、実験する水準の組み合わせと実験順序を決定
  2. 独立変数に分散分析を施し、最も有効な水準を推定する

# ラテン方格

- $n \times n$ の各マスに1, 2, ...,  $n$ を並べたもの
  - 各行に同じ数字は一度のみ現れてよい
  - 各列に同じ数字は一度のみ現れてよい

	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>
<b>A1</b>	1	2	3
<b>A2</b>	3	1	2
<b>A3</b>	2	3	1

# ラテン方格法

- 独立変数A、B、C
  - Aの水準: A1、A2、A3
  - Bの水準: B1、B2、B3
  - Cの水準: C1、C2、C3
- すべての組み合わせは27通り
  - ラテン方格を利用して、実験回数を9回に削減

	B1	B2	B3
A1	C1	C2	C3
	14	15	16
A2	C3	C1	C2
	12	4	8
A3	C2	C3	C1
	10	8	3



# ラテン方格法

- 独立変数Aで、最も良い水準は?
  - 見たところ、A1?
- 全体の平均:  $90/9=10$ 
  - A1の平均:  $45/3=15$ 
    - 平均の差:  $15-10=+5$
  - A2の平均:  $24/3=8$ 
    - 平均の差:  $8-10=-2$
  - A3の平均:  $21/3=7$ 
    - 平均の差:  $7-10=-3$

どうやらA1の効果はおおよそ+5で、最も良い水準のようである

	B1	B2	B3
A1	C1	C2	C3
	14	15	16
A2	C3	C1	C2
	12	4	8
A3	C2	C3	C1
	10	8	3

# ラテン方格法

- 独立変数Bで、最も良い水準は?
  - 見たところ、B1?
- 全体の平均:  $90/9=10$ 
  - B1の平均:  $36/3=12$ 
    - 平均の差:  $12-10=+2$
  - B2の平均:  $27/3=9$ 
    - 平均の差:  $9-10=-1$
  - B3の平均:  $27/3=9$ 
    - 平均の差:  $9-10=-1$

どうやらB1の効果はおおよそ+2で、最も良い水準のようである

	B1	B2	B3
A1	C1	C2	C3
	14	15	16
A2	C3	C1	C2
	12	4	8
A3	C2	C3	C1
	10	8	3

# 演習10

- 独立変数Cで、最も良い水準は?
  - 見たところxxxx?
- 全体の平均:  $90/9=10$ 
  - C1の平均:  $(14+4+3)/3=$ 
    - 平均の差:
  - C2の平均:
    - 平均の差:
  - C3の平均:
    - 平均の差:

	B1	B2	B3
A1	C1	C2	C3
	14	15	16
A2	C3	C1	C2
	12	4	8
A3	C2	C3	C1
	10	8	3

# ラテン方格法と分散分析

- 水準A1の+5は  
有意な差のように思える
- 水準B1の+2は  
偶然の誤差かもしれない
- 分散分析(ANOVA)
  - Analysis of variance
  - 各独立変数ごとに行う
  - 9つの測定値を、  
全体を1グループとした場合と、  
水準別3グループとした場合で  
それぞれ分散を算出し、  
後者の分散が有意に大きい場合、  
水準間に有意さがあるとする

	B1	B2	B3
A1	C1	C2	C3
	14	15	16
A2	C3	C1	C2
	12	4	8
A3	C2	C3	C1
	10	8	3

# ラテン方格法の欠点

---

- すべての独立変数の水準が等しくなければならない
- 交互作用を検出しにくい
  - 交互作用:
    - B3とC3のそれぞれは大したことないが、「組み合わせの妙」で、 $B3+C3$ は効果抜群

近年の実験計画法では、ラテン方格法を発展させた直交表を利用するのが一般的

# 直交表

●  $L_4(2^3)$

	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

- 独立変数3つで、それぞれの水準数が2の場合の直交表

# 直交表の利用

●  $L_4(2^3)$

	1	2	3
1	1	1	1
	A1	B1	C1
2	1	2	2
	A1	B2	C2
3	2	1	2
	A2	B1	C2
4	2	2	1
	A2	B2	C1

- 独立変数3つで、それぞれの水準数が2の場合
- すべての組み合わせは8通り
  - 直交表を利用して、実験回数を4回に削減
- 実際の実験順序は、乱数表で定める
  - 上から順ではない

# いろいろな直交表

---

- $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_{16}(2^{15})$ 、 $L_{32}(2^{31})$
- $L_9(3^4)$ 、 $L_{27}(3^{13})$ 、 $L_{81}(3^{40})$
- 大きい直交表を利用すると、  
交互作用を表す列を設けることができる
- 水準数が異なる独立変数を  
組み合わせる場合、  
ダミー水準を用意して列に割り付ける

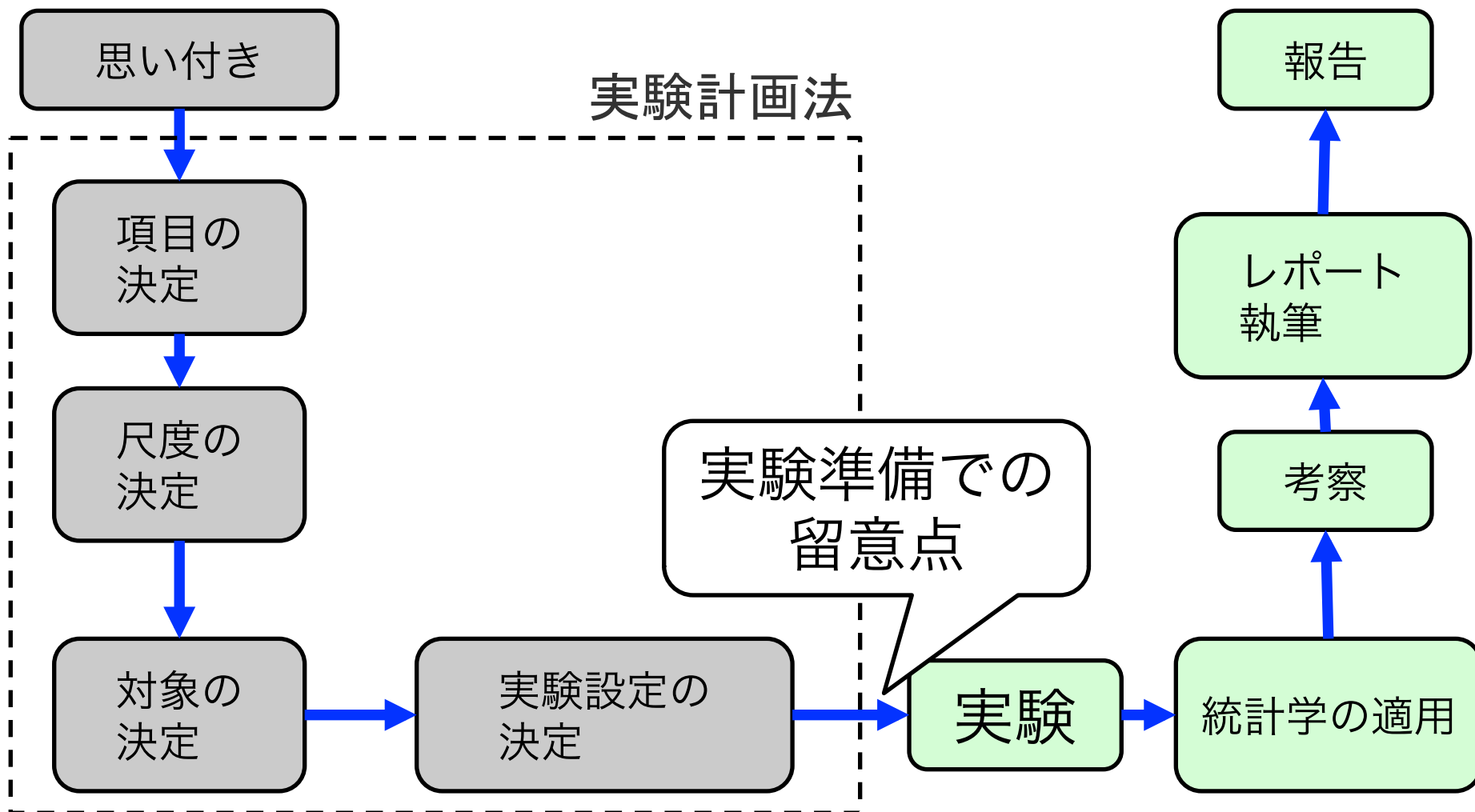


# 実験順序

---

- 無作為が前提
  - 乱数表を利用する
  - ラテン方格法を利用する
- 必要ならば、**カウンターバランス**を実施
  - 実験a→実験bの順と、実験b→実験aの順を、同じ数だけ実施する
- 被験者の慣れに留意する

# 思い付きから報告までの流れ



# 実験準備での留意点

---

## ● 作業説明書は丁寧に作成する

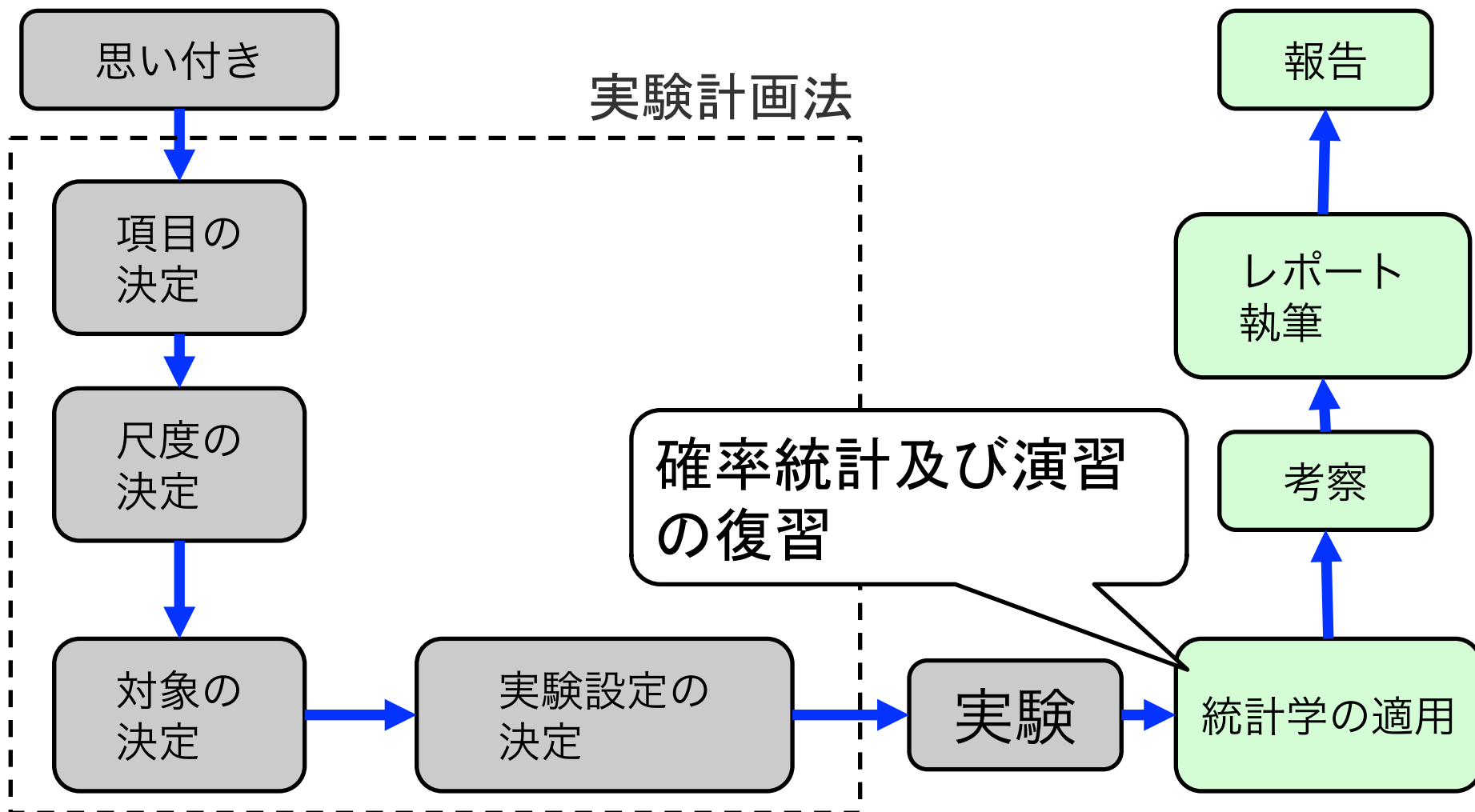
- 内容の妥当性
- 量
- 提示順序
- 読みやすさ

## ● インフォームドコンセント

- 被験者に説明し、実験の同意を得る
- 必須かどうか、事前に必ず確認する

## ● 以降、個人情報取り扱いに注意する

# 思い付きから報告までの流れ

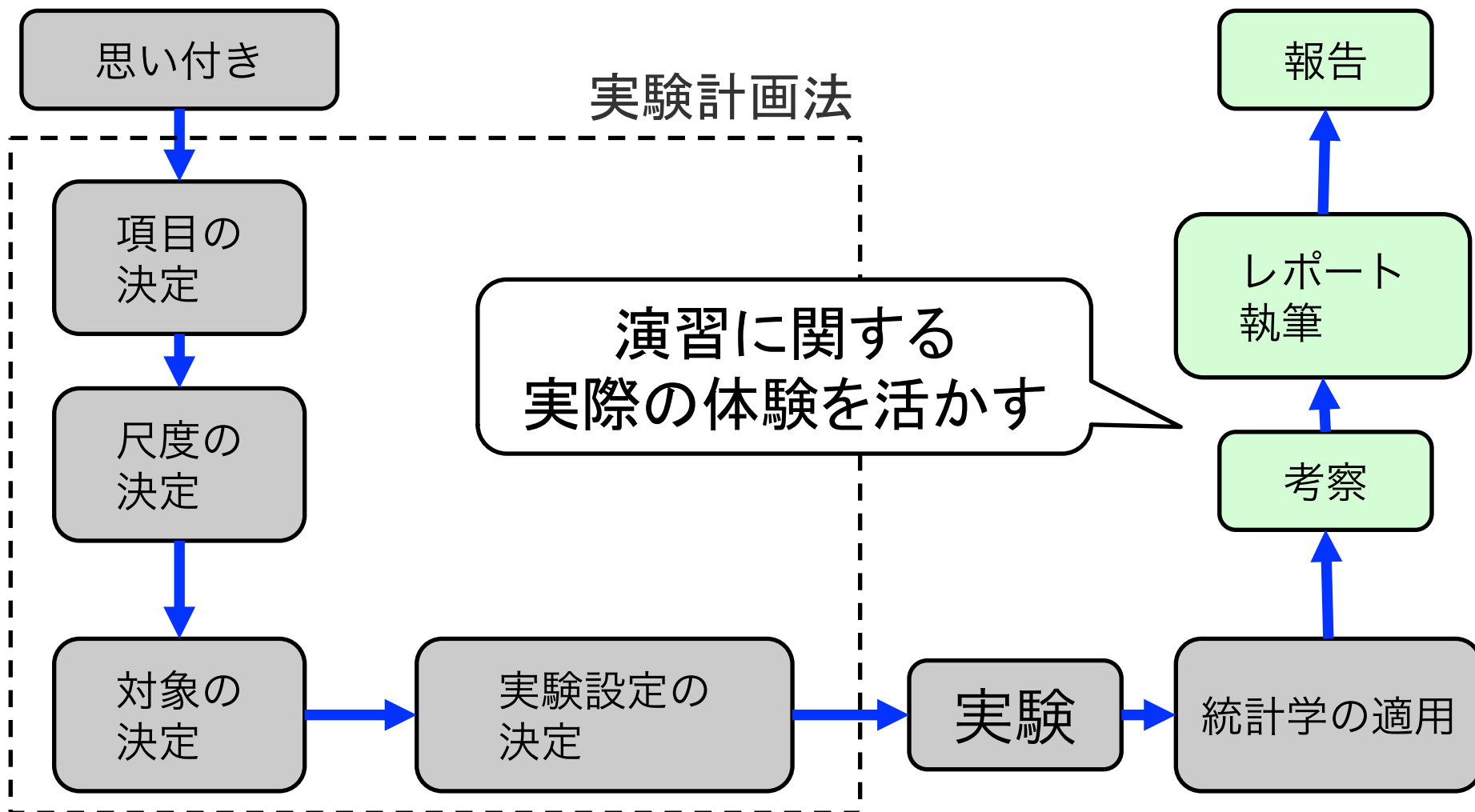


# 主な統計的手法

---

- 統計量の算出
  - 平均、中央値、最頻値、分散、標準偏差
- 分散分析、種々の検定
- 相関分析、(重)回帰分析、クラスター分析、因子分析

# 思い付きから報告までの流れ



# まとめ

---

- 計画を美しくデザインすることは何事にも大切である
  - 時間を節約できる
  - お金を節約できる
  - 科学的根拠として利用できる

# 実験計画法に関する参考文献

---

1. 吉田 寿夫: 本当にわかりやすいすごく大切なことが書いてあるごく初歩の統計の本, 北大路書房, 1998.
2. 森 敏昭, 吉田 寿夫: 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 北大路書房, 1990.
3. 後藤 宗理, 大野木 裕明, 中澤 潤: 要因計画法, 北大路書房, 2000.
4. 中村 義作: よくわかる実験計画法, 近代科学社, 1997.
5. 大村 平: 実験計画と分散分析のはなし: 効率よい計画とデータ解析のコツ, 日科技連出版社, 1984.
6. 菅 民郎: EXCEL統計のための統計分析の本, エスミ, 2005.