


令和6年度JRA畜産振興事業に関する調査研究発表会

A vertical bar on the left side of the slide, consisting of an orange top section and a grey bottom section.


# 牛肉のおいしさに関する3つの 食味指標と遺伝的評価

～「食感、味、におい」の指標化と遺伝的評価への活用～

牛肉の食味指標値の遺伝的評価研究開発事業

一般社団法人 家畜改良事業団

家畜改良技術研究所 技術開発部 上席専門役 佐々木整輝

A vertical bar on the right side of the slide, consisting of a grey top section and an orange bottom section.

# 本日の発表内容

## 1. 研究背景

## 2. おいしさと食味について

## 3. 食味指標値の作成

- ① 分析型官能評価の推定式の開発
- ② 簡易測定法の分析型官能評価推定式の開発
- ③ 食味指標値への集約（食感・味・におい）

## 4. 現場後代検定候補牛の食味指標値のゲノム評価

# 研究背景:

## 牛の改良技術の発展の歴史

約4,500年前



カニニストのマスターバ東壁

photo by Didia ; Radoslaw Botev; Jeff Dahl CC-BY-SA; CC-BY;CC , from Wikimedia Commons

表現型での選抜  
様々な品種の形成



Public Domain from Wikimedia Commons

50年前



コンピューターにより複雑な計算が可能に

家畜育種は表現型と血縁記録、統計手法 (BLUP) の開発によって発展  
Henderson (1973)

約1500年前  
日本に伝わる



15年前～現在

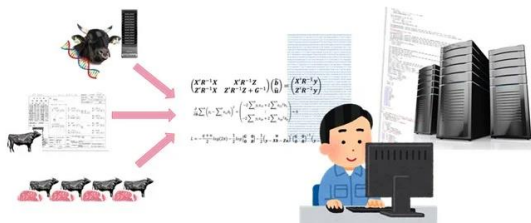
ゲノム上の5万箇所を解析



ゲノム選抜

従来手法にSNP情報を組み合わせたゲノム評価に発展

枝肉形質等の  
遺伝評価が正確に  
できるようになった



次なる目標 ⇒ 新たな改良形質の探索 (行動、生産性..)



食肉市場  
の評価



食卓  
の評価

新しい改良形質として**食味性**に注目が集まる

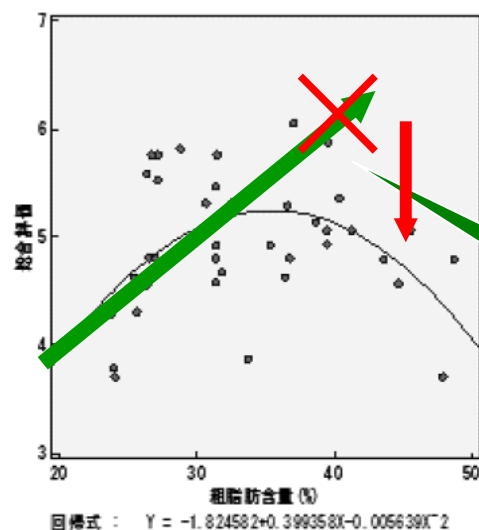




# 令和2年3月 家畜改良増殖目標 の改定

## Ⅲ 肉用牛> 2 改良目標> (1) 能力に関する改良目標 より抜粋

生産コストの低減や効率的な牛肉生産の観点及び脂肪交雑の多い牛肉のみならず、牛肉に対する消費者の多様なニーズの高まりに対応する観点から、脂肪交雑については現在の改良量を引き続き維持した上で、日齢枝肉重量のほか、歩留基準値、ロース芯面積など肉量に関する形質や、食味に関連する不飽和脂肪酸<sup>(注)</sup>（オレイン酸等）などの向上に向けた種畜の選抜・利用を推進するものとする。また、不飽和脂肪酸（オレイン酸等）のみならず、牛肉のアミノ酸量や締まり・きめ等、その他食味に関する科学的知見の更なる蓄積を進めるとともに、牛肉に関する新たな改良形質の検討を推進するものとする。



項目	横軸	縦軸
実験番号	2	9
実験名	総脂肪含量 (%)	総合評価
データ数	38	38
最小値	23.760	3.710
最大値	48.600	6.059
平均値	33.5645	4.9517
標準偏差	7.07672	0.60995
重相関係数	0.452	
回帰定数	-1.825	
回帰係数1次	0.399	
回帰係数2次	-0.006	

霜降りが増えれば増えるほどおいしいとはならない

注:不飽和脂肪酸  
脂肪を構成している要素である脂肪酸は、分子の構造的な違いから飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸に分類され、構造中に一つ以上の二重結合を持つ脂肪酸を不飽和脂肪酸という。オレイン酸等は分子構造中に一つの二重結合を持つ一価不飽和脂肪酸(MUFA)である。

黒毛和種去勢牛 38 頭による官能評価の「総合評価」でも、好まれる脂肪含量には最適な量があることがわかった。

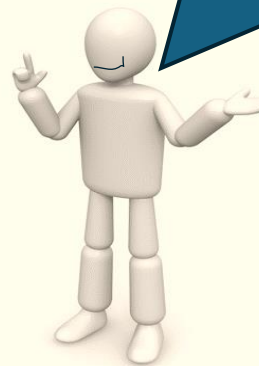
# おいしさと食味について:

## おいしい牛肉って?

将来「おいしさ」でも  
牛肉を改良する必要性  
が出てきた

表現型が数値で測定できるよ  
うにすれば、ゲノム評価は可能

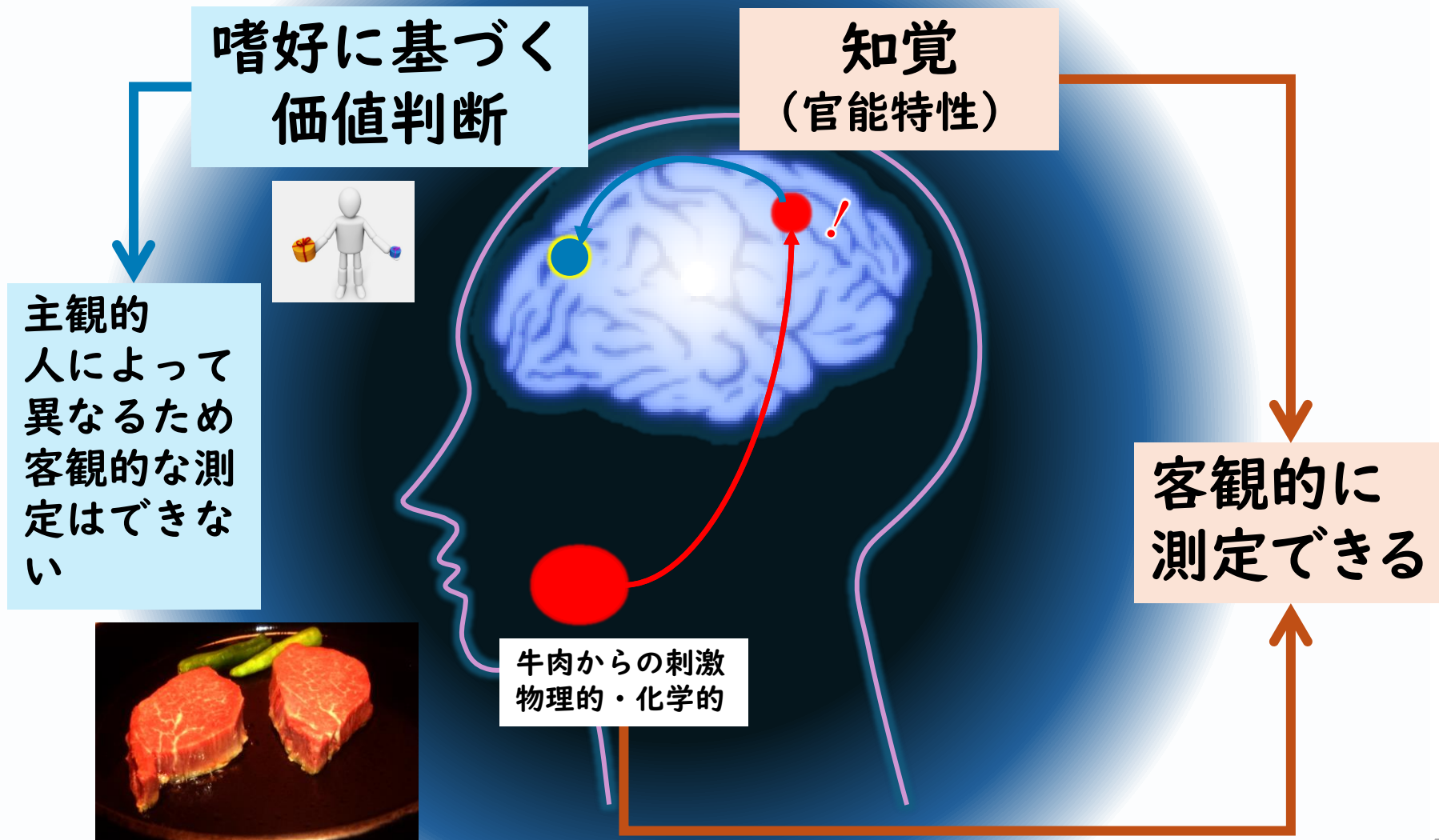
そもそも  
「おいしさ」って  
人それぞれ  
じゃない?



でも、おいしさを数値化する  
のって可能なの?

# おいしさとは？

- ・おいしさを認知するプロセス



# 嗜好と知覚の違い

甘いよ!

知覚 を説明している  
糖度や甘さの強度で表現できる

味  
香り  
温度  
テクスチャー  
外観  
音

=本公演では食味とします。



おいしいよ!

嗜好を説明している

心理的要因  
生理的要因  
環境的要因  
(情報・教育, 文化・  
宗教, 気候・風土も影響)

嗜好と知覚（食味）を厳格にわけて考える必要があります



# 食味指標値の作成

---

## 基本戦略

生産者・消費者が直感的に理解できる指標にする。

長期間つかえる指標にする。

食味に関わる成分の積極的な検索はしない。

# 食味に関わる成分を積極的に探索しない理由

- 食味と牛肉成分との関わりを証明するのが困難  
オレイン酸/MUFAが成功して以降、新規成分が社会実装できていない。
- 大学等の多くの研究機関で食味に関わる成分の探索がされている。  
同じことをして研究内容が他機関とバッティングするリスク
- もし新規成分が導入されても、改良形質として使えるまで4~5年はデータ蓄積が必要となる。  
関与する成分が多くなればなるほど、生産者・消費者の判断が難しくなる。

# 当団で測定しているデータ

10項目40成分

現場検定



ホモジナイズ

検品

ペースト状にする



検品



受託分析

秤量

0.5g

0.5g

0.5g

0.5g

0.1g

0.3g

脂肪抽出

粗脂肪%

リン脂質

脂肪酸組成  
(19成分⇒7成分)

アミノ酸(26種)

糖類

糖抽出

グリコーゲン

グルコース

ペプチド

粗蛋白

水分

乾燥

前処理

前処理

前処理

前処理

前処理

前処理

前処理

前処理

乾燥

発色

発色

発色

発色

発色

発色

重量法

比色  
定量

ガスクロ

HPLC

比色  
定量

比色  
定量

比色  
定量

比色  
定量

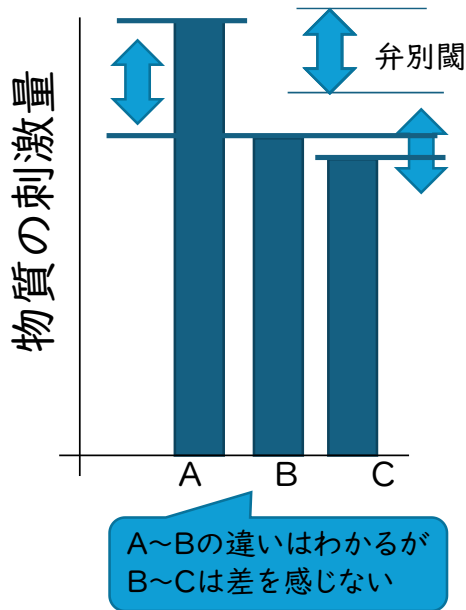
重量法

食味との関連は？

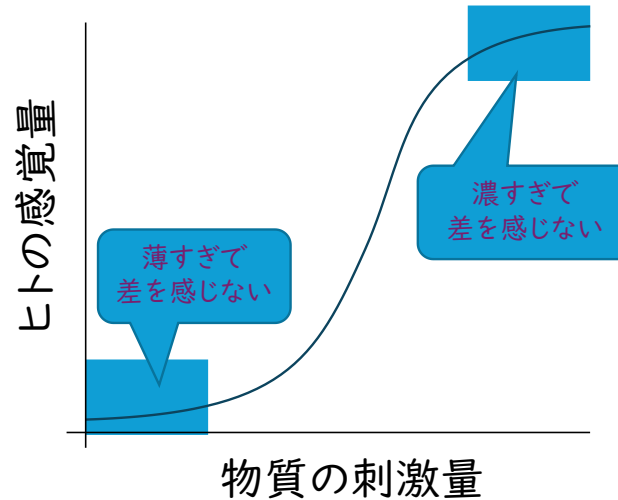
ろ紙

# 成分の分析値が必ずしもヒトの感覚を反映しない理由

## ・ 閾値の問題



## ・ 直線性の問題



## ・ 他成分の相互作用



塩をかけると甘さが強くなる

閾値以下の差は感じとれない 濃すぎ(薄すぎ)る差は感じとれない

注目している成分以外の影響で差を感じてしまう

・その他(不明なこと多数)

# そこで、分析型官能評価

- 人間が実際に喫食して感覚量を客観的に評価する手法
- 客観性を担保するため、選抜・訓練した複数名のパネリストを用い決まった方法(QDA法等)で実施する。



やわらかさ前	香ばしい牛のにおい
やわらかさ後	悪い牛くささのなさ
線維感	風味の強さ
多汁性	先に立つうま味
脂っぽさ	持続性のあるうま味
甘い牛のにおい	うま味の強さ

- ISO、JISなどでも規格化されている

長所:

- 直感的にわかりやすい評価指標
- 本研究の手法では平均値が計算できる  
(枝肉形質と同じように統計処理が可能)

短所:

- 処理数が少ない(1日5件程度が限界)
- 人的コストが高い



# 食味指標値の推定の流れ

成分分析データ  
30-40項目



官能評価データ12項目の推定値

やわらかさ前	香ばしい牛のにおい
やわらかさ後	悪い牛くささのなさ
繊維感	風味の強さ
多汁性	先に立つうま味
脂っぽさ	持続性のあるうま味
甘い牛のにおい	うま味の強さ

食味指標値 3項目



12個の分析型官能評価を推定

3つの指標に集約

## 分析型官能評価の推定式の開発

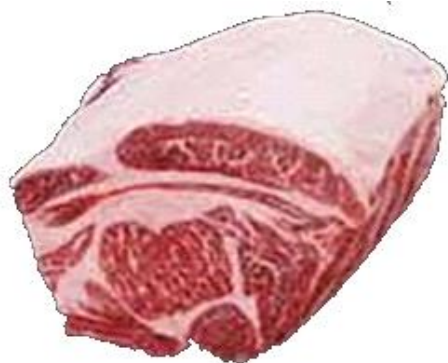
成分値だと個々の証明が  
困難。でも、分析型官能  
評価は数がこなせない。



成分値から分析型  
官能評価を推定で  
きるようにすれば  
良いのでは？

# 材料と測定項目

## ■材料 牛リブロース



210検体を本事業で実施  
厚さ 5~6cm 官能評価用  
1~2cm 成分等分析用

## ■測定実施項目等

- 分析型官能評価
- 成分分析

合計で631検体分の一貫したデータセットを整備

# 官能評価方法

胸最長筋を1 cm厚にスライス

200°Cのホットプレートで加熱  
(表面を55秒焼いた後、裏返し、  
内部中心温度60°Cまで加熱  
(合計120~210秒))

室温まで放冷後クッキングロス  
を測定

3×4 cm長方形に成形

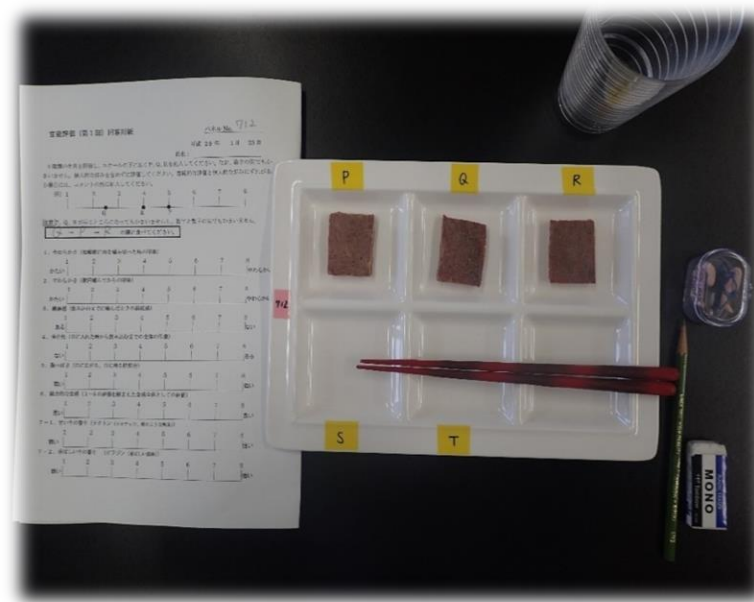
## パネル

訓練パネル9名

(訓練方法:五味識別訓練、  
グルタミン酸濃度識別訓練、  
市販肉を用いた尺度合わせ)

## 評価方法

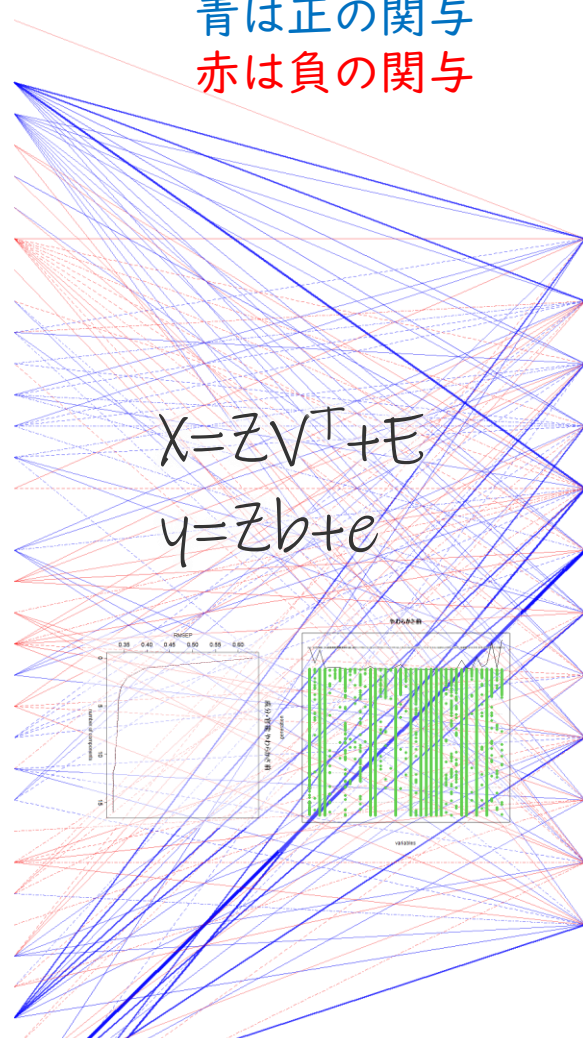
8段階尺度 分析型官能評価  
(1.悪い ⇄ 8.良い)



# 成分から分析型官能評価の予測式の作成

水分
粗蛋白
粗脂肪
グリコーゲン濃度
グルコース濃度
ペプチド濃度
リン脂質濃度
アスパラギン酸
グルタミン酸
セリン
アスパラギン
グリシン
グルタミン
ベータアラニン
タウリン
ヒスチジン
トレオニン
アラニン
カルノシン
アルギニン
プロリン
アンセリン
チロシン
バリン
メチオニン
イソロイシン
ロイシン
フェニルアラニン
トリプトファン
リジン
ミリスチン酸 (C14:0)
ミリストレイン酸 (C14:1)
パルミチン酸 (C16:0)
パルミトレイン酸 (C16:1)
ステアリン酸 (C18:0)
オレイン酸 (C18:1)
リノール酸 (C18:2)
MUFA

青は正の関与  
赤は負の関与



$$X = ZV^T + E$$

$$y = Zb + e$$



- やわらかさ前
- やわらかさ後
- 線維感
- 多汁性
- 脂っぽさ
- 甘い牛の香り
- 香ばしい牛の香り
- 悪い牛くささのなさ
- 風味の強さ
- 先に立つうま味
- 持続性のあるうま味
- うま味の強さ

$$y_1 = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots$$

$$y_2 = a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \dots$$

$$y_3 = a_{13}x_1 + a_{23}x_2 + \dots$$

$$y_4 = a_{14}x_1 + a_{24}x_2 + \dots$$

$$y_5 = a_{15}x_1 + a_{25}x_2 + \dots$$

$$y_6 = a_{16}x_1 + a_{26}x_2 + \dots$$

$$y_7 = a_{17}x_1 + a_{27}x_2 + \dots$$

$$y_8 = a_{18}x_1 + a_{28}x_2 + \dots$$

$$y_9 = a_{19}x_1 + a_{29}x_2 + \dots$$

$$y_{10} = a_{110}x_1 + a_{210}x_2 + \dots$$

$$y_{11} = a_{111}x_1 + a_{211}x_2 + \dots$$

$$y_{12} = a_{112}x_1 + a_{212}x_2 + \dots$$

成分に重みを付けた係数をかけて合算する式で分析型官能評価を予測する。

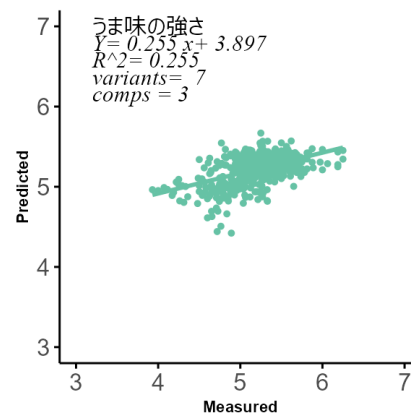
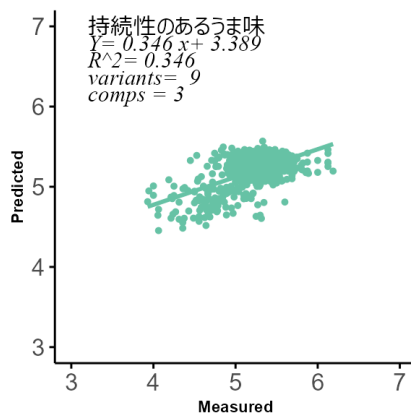
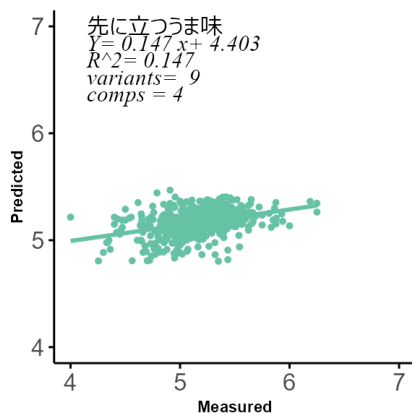
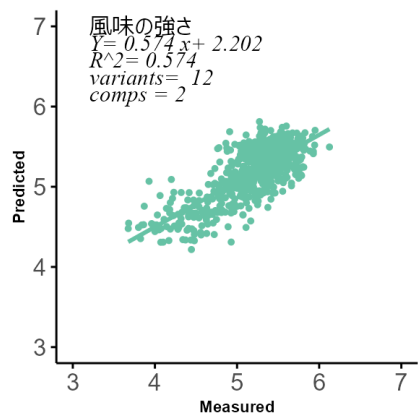
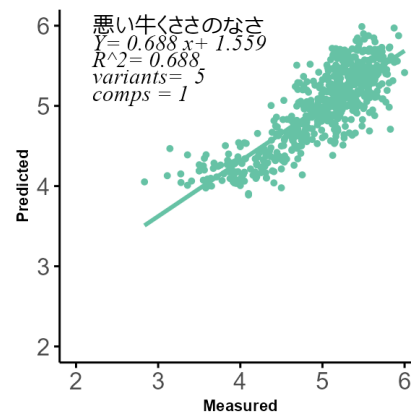
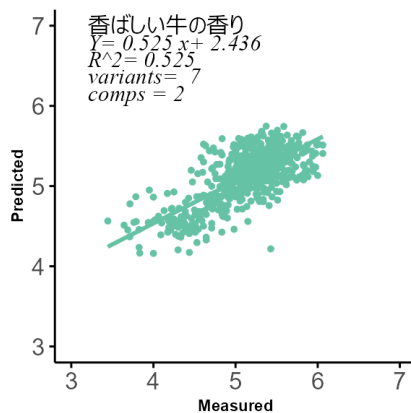
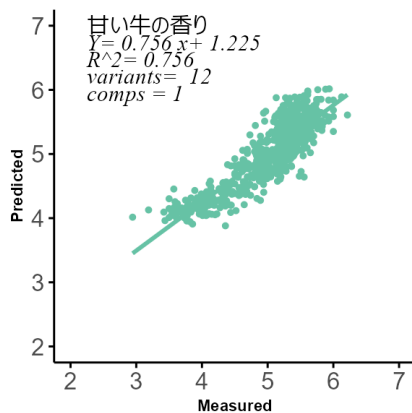
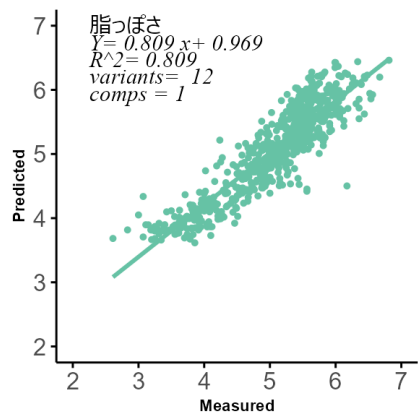
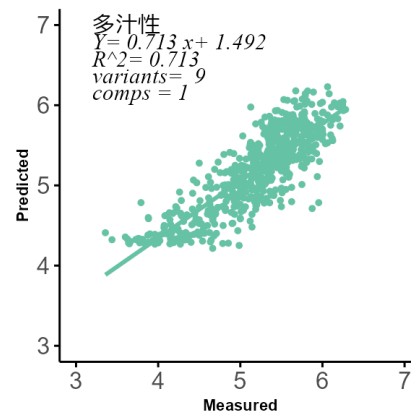
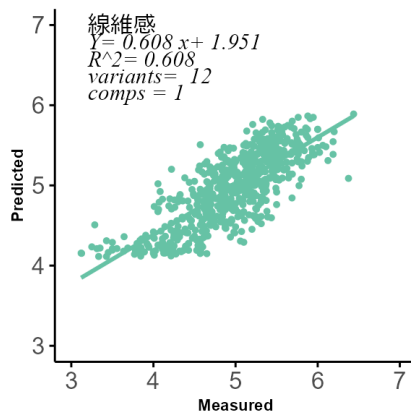
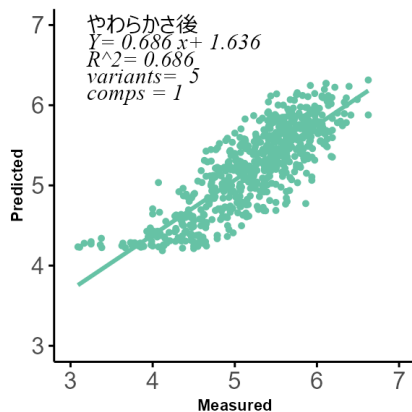
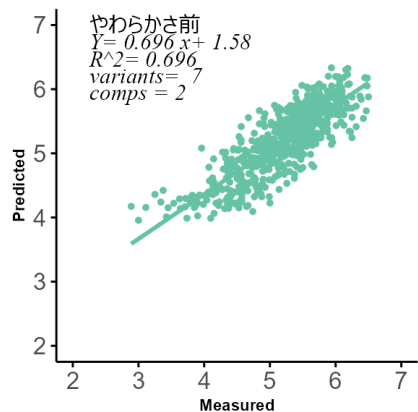
係数は回帰分析にて算出



PLS回帰分析+  
遺伝的アルゴリズム  
で解析



# 成分からの分析型官能評価値の推定



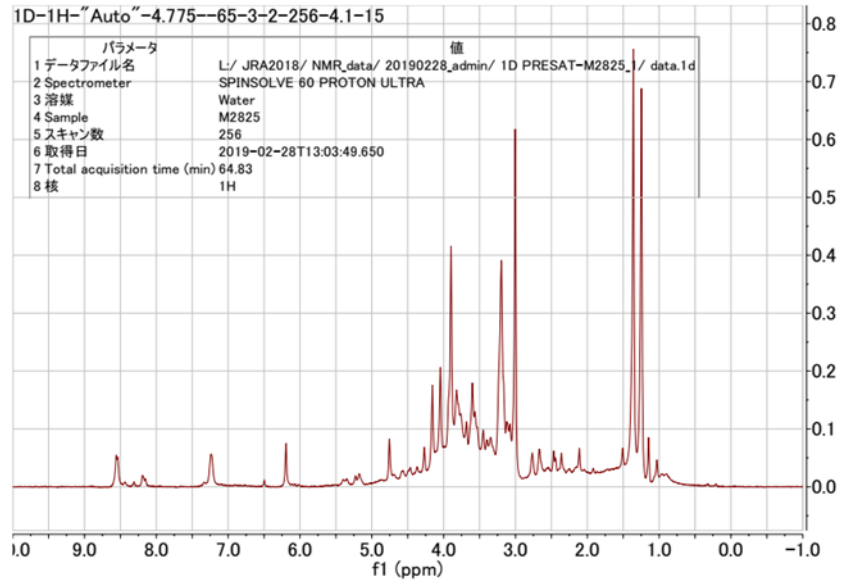
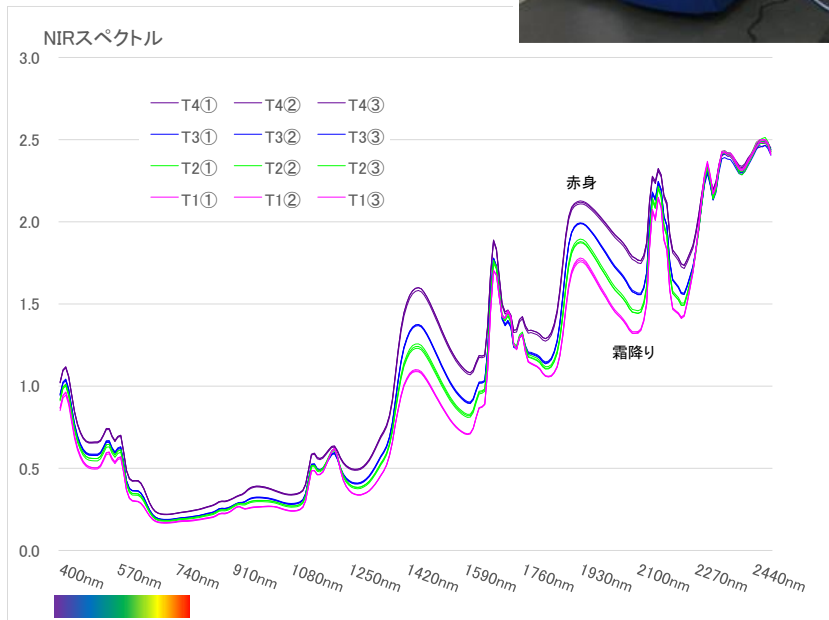
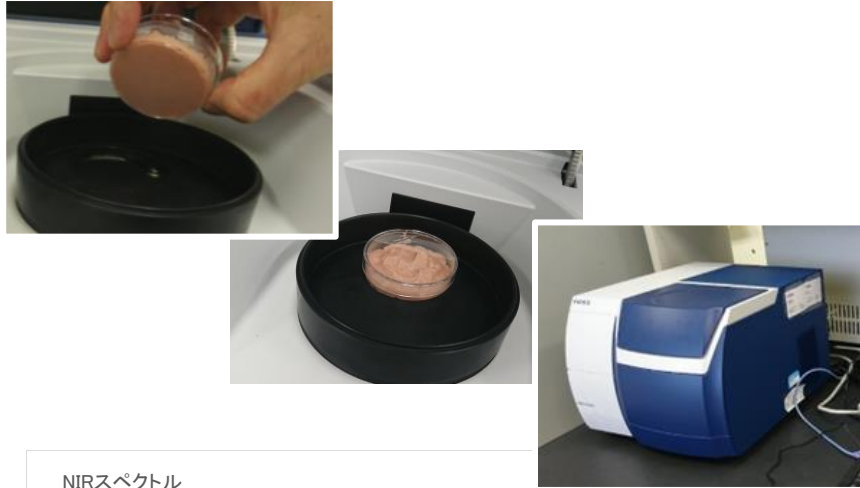
## 食味指標の簡易測定法の開発

成分分析は多くの項目を  
しなければならぬので、  
お金もかかって大変だ。



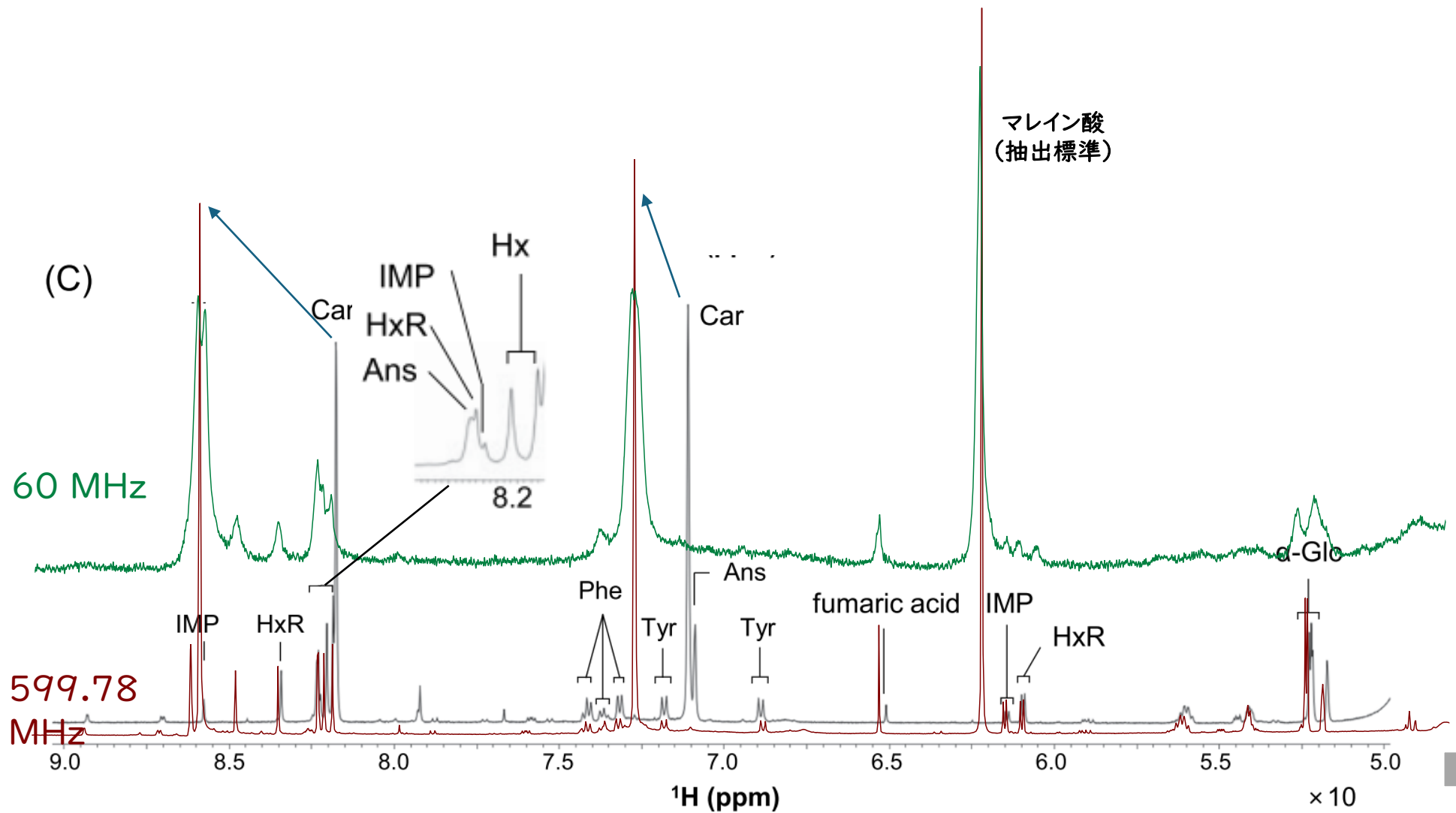
機械から出てくる  
情報をそのまま使  
えば良いのでは？

# 近赤外線分光測定装置 (NIR) と 核磁気共鳴分光装置 (NMR)



# NMRスペクトル比較

論文 Kodaniら(2017) ⇔ JEOL 600MHz (赤) ⇔ 卓上60MHz(緑)

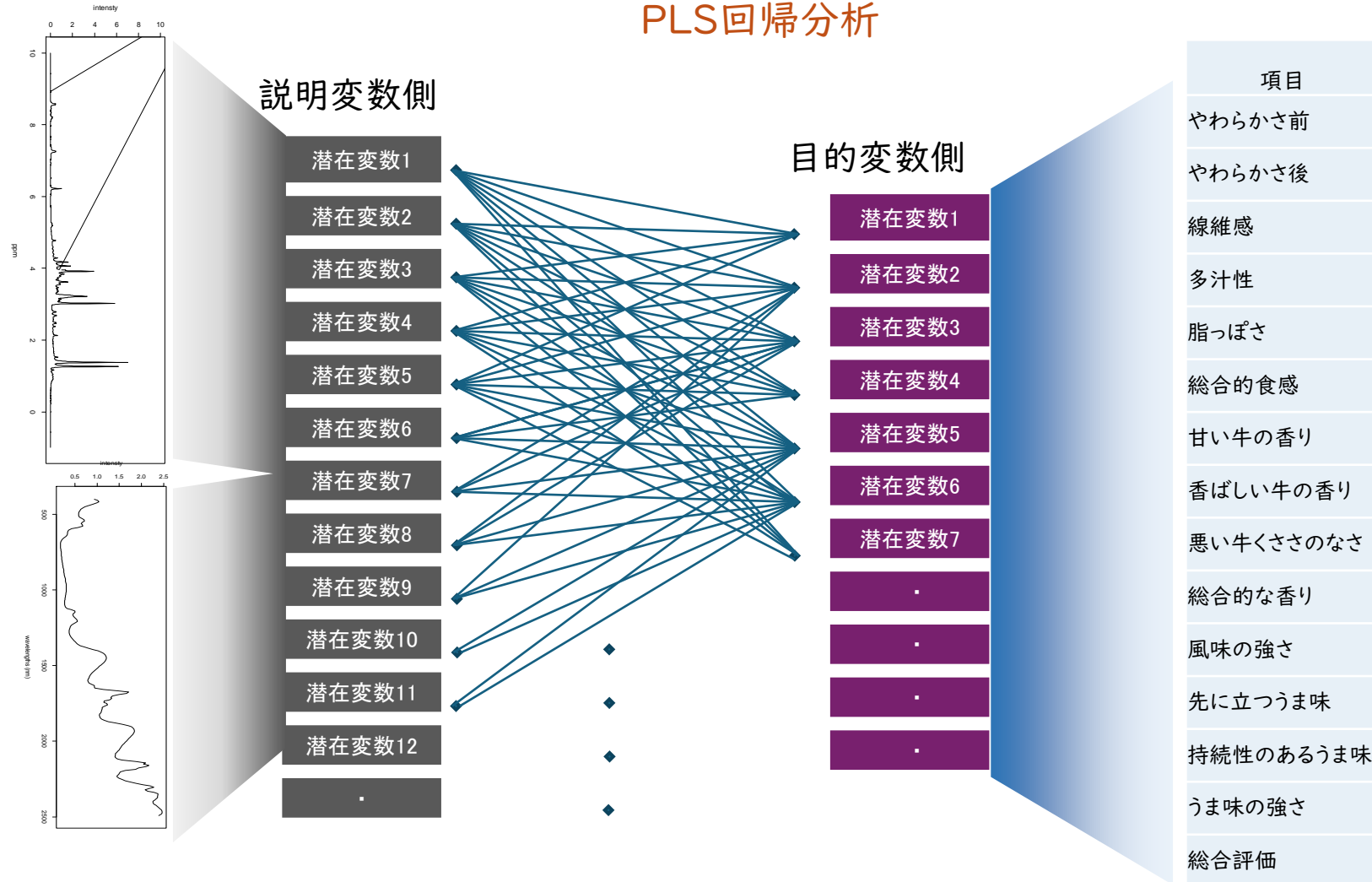






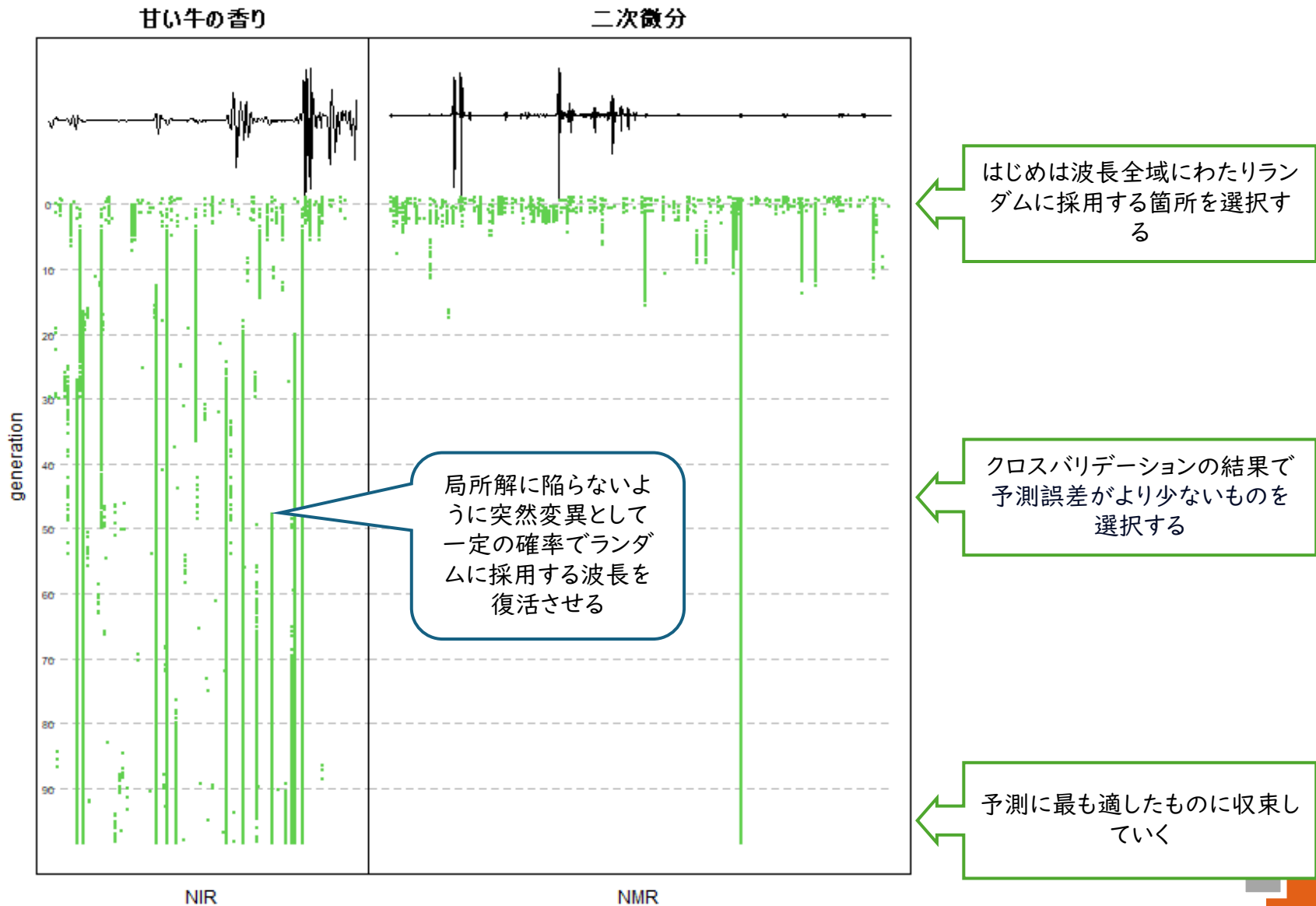
# NIR、NMRスペクトルデータから分析型官能評価の推定

## PLS回帰分析

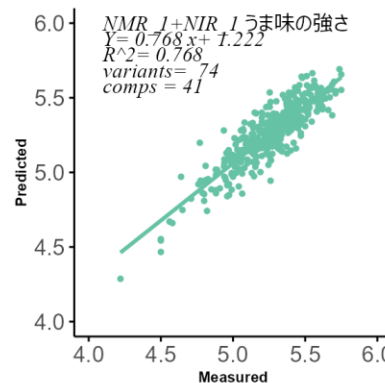
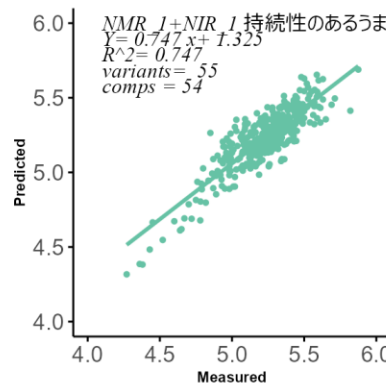
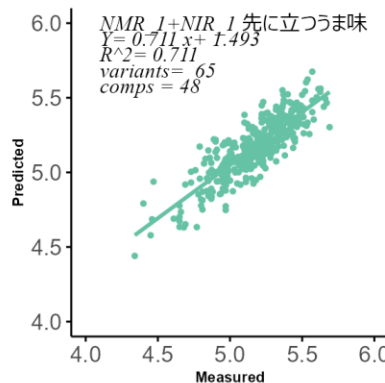
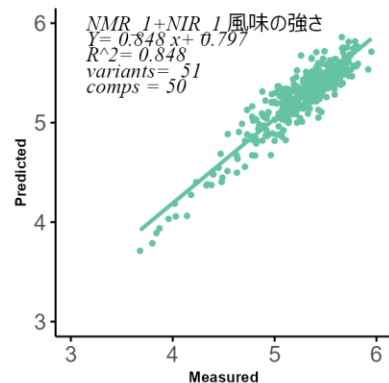
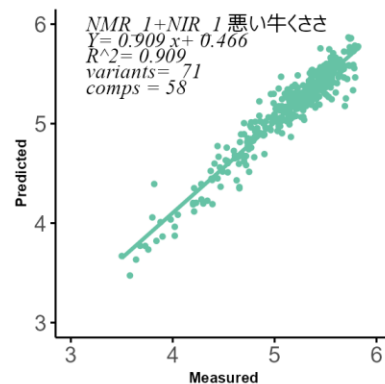
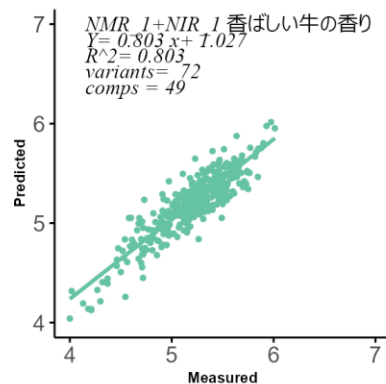
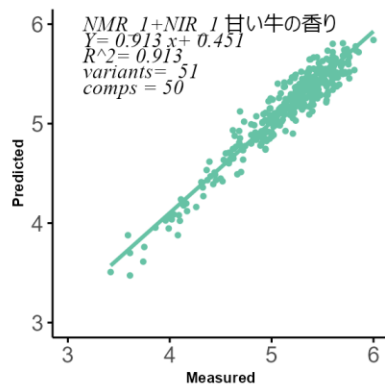
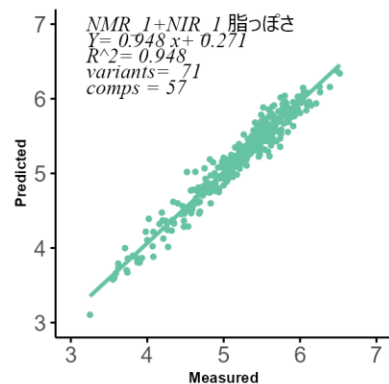
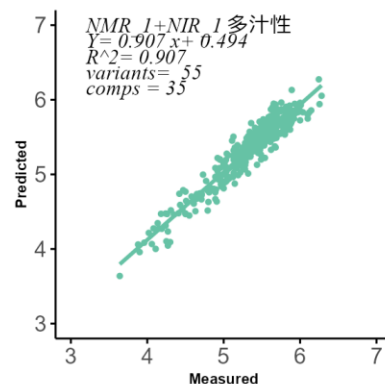
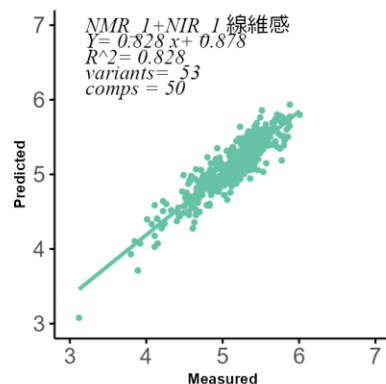
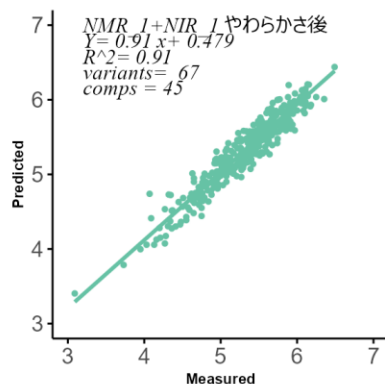
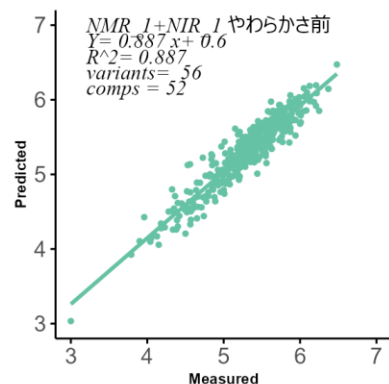


NIR、NMRのスペクトルには牛肉の成分の情報が含まれていることから、ダイレクトに分析型官能評価を推定できる可能性がある。実験者が対象にしていない成分も含まれているため、適切に行えば従来の成分分析を超える予測精度も期待できる。

# 遺伝的アルゴリズム (GA) による変数選択の経過



# 装置から出た生データをそのまま使った予測モデル



# 食味指標値の作成

## 食味指標値への集約 (食感・味・におい)

分析型官能評価は12項目もあると活用する際大変だ



なるべく少なく表現できないか？

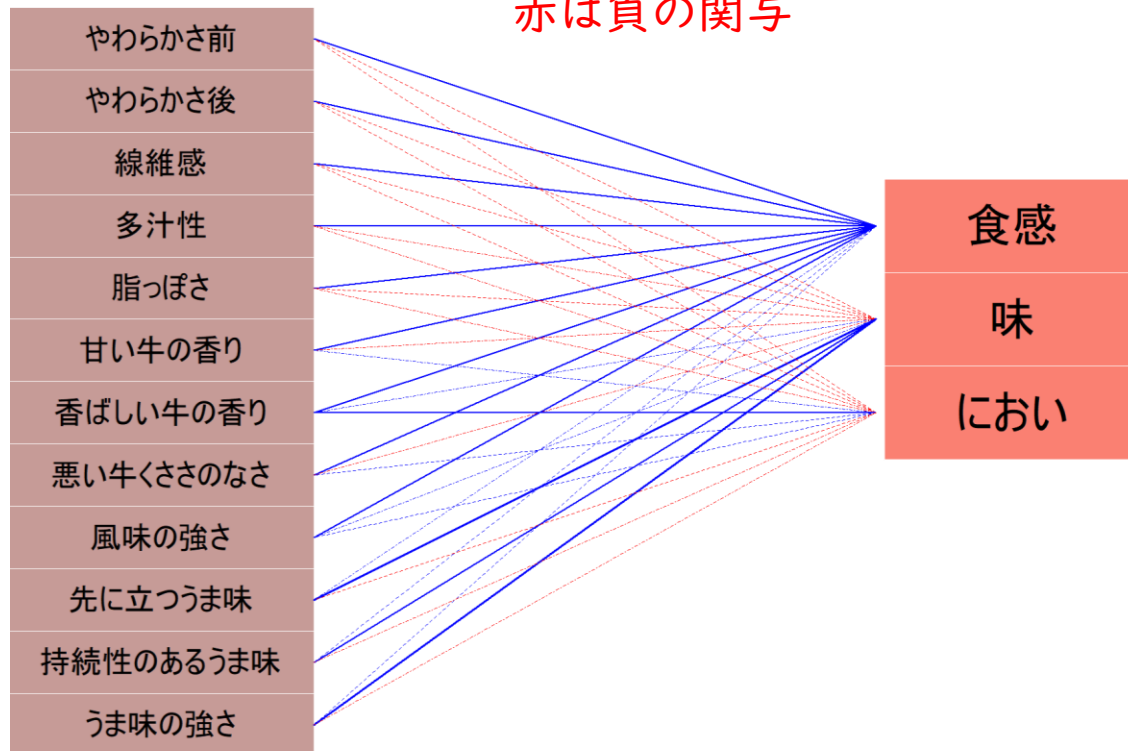
# 食味指標値の算出



青は正の関与  
赤は負の関与

主成分分析を用いて、情報損失がなるべく小さくなるよう次元を集約

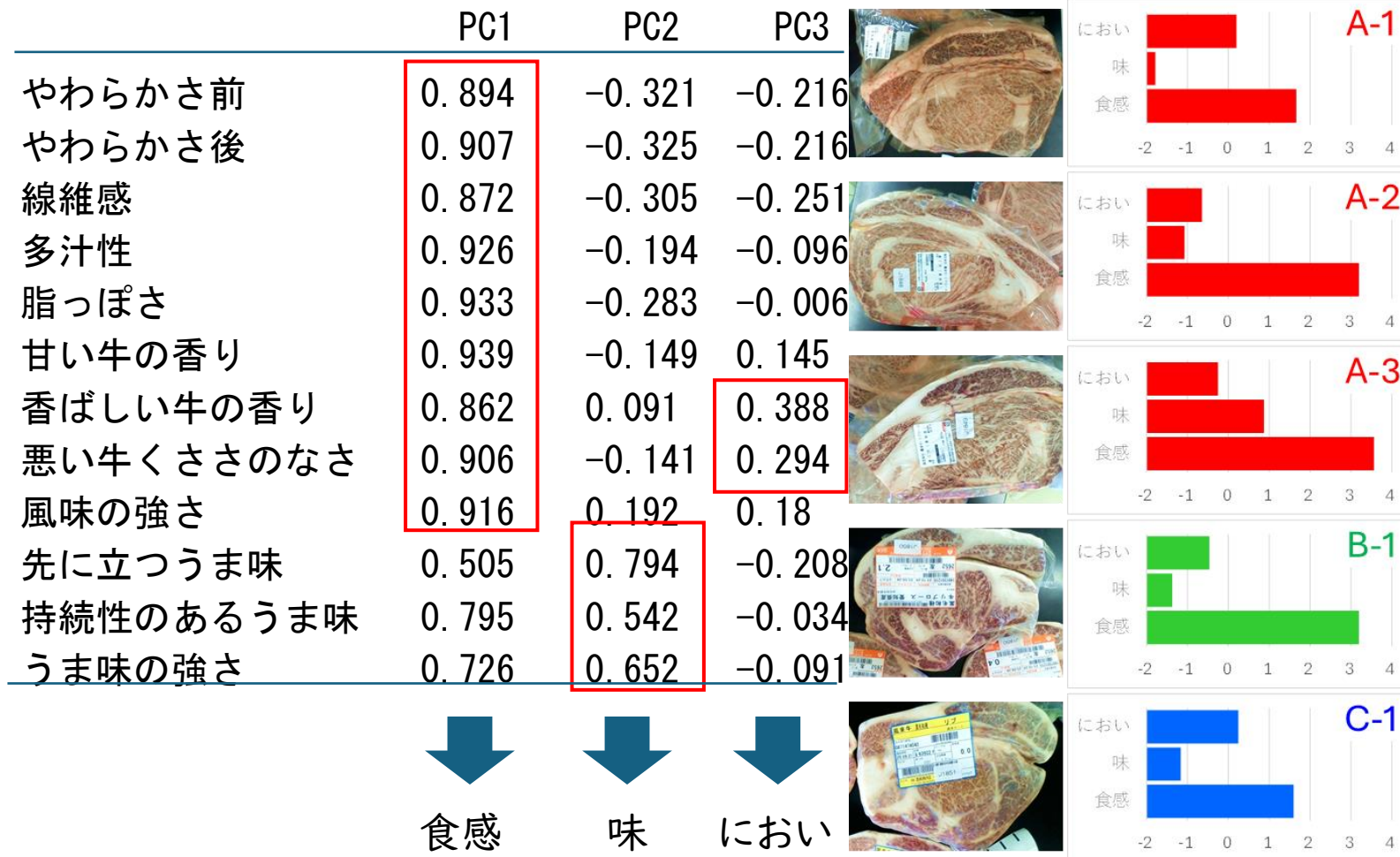
12項目の分析型官能評価の情報の93.1%はPC1~3の3つの値で表現が可能になった。



	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12
Standard deviation	2.9685	1.3651	0.70920	0.44711	0.38655	0.34703	0.32107	0.28393	0.26275	0.21717	0.17622	0.14312
Proportion of Variance	0.7343	0.1553	0.04191	0.01666	0.01245	0.01004	0.00859	0.00672	0.00575	0.00393	0.00259	0.00171
Cumulative Proportion	0.7343	0.8897	0.93157	0.94823	0.96068	0.97071	0.97930	0.98602	0.99178	0.99571	0.99829	1.00000

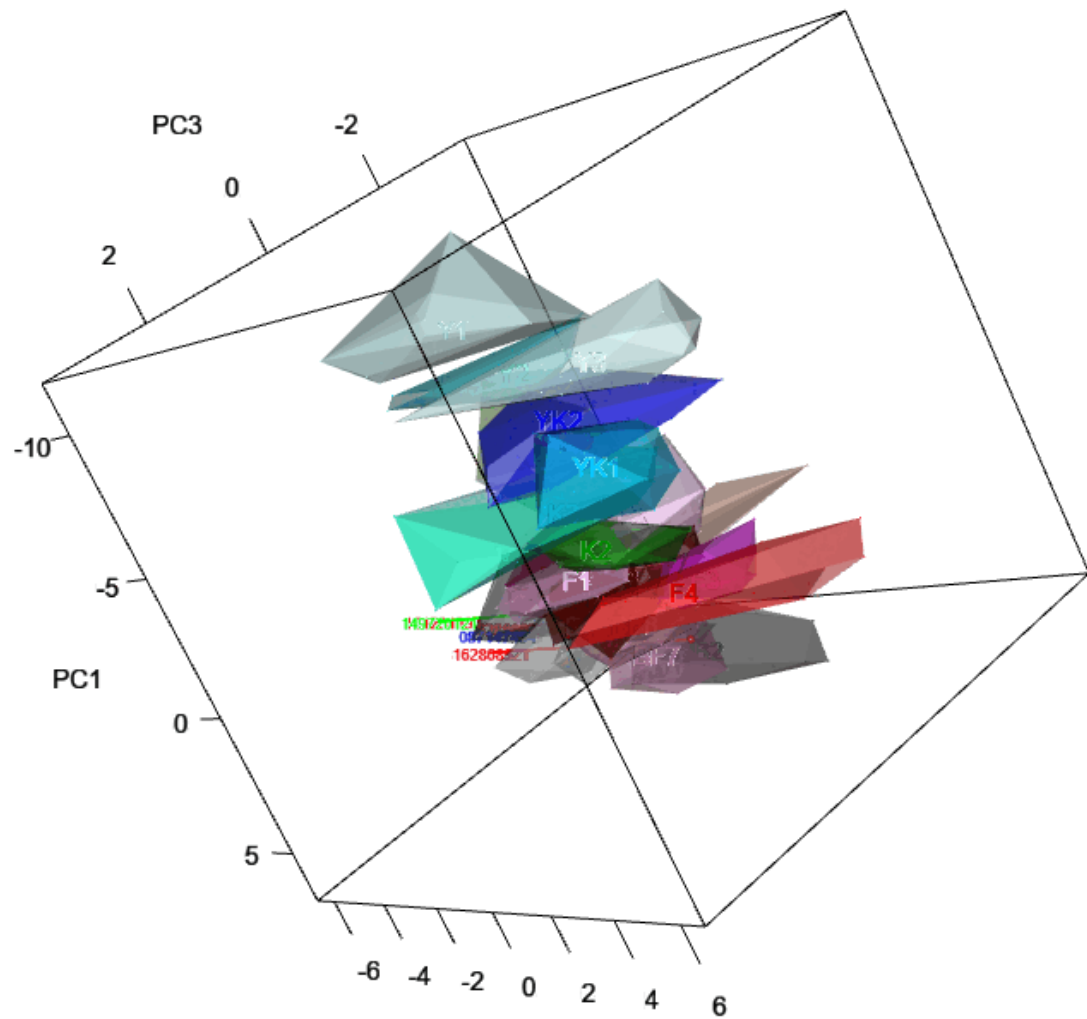
# 食味指標値の算出 分析型官能評価値の主成分分析

因子負荷量





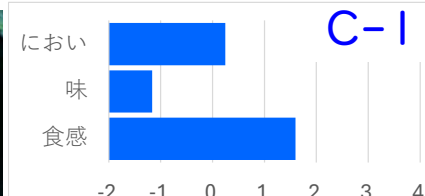
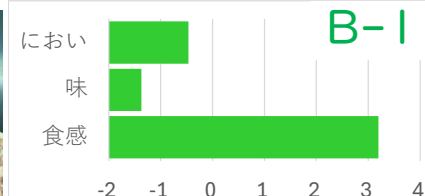
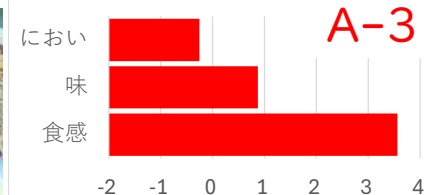
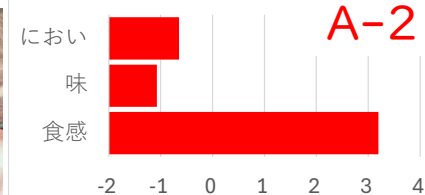
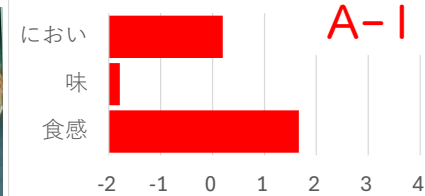
# 新たな食味指標値による評価例



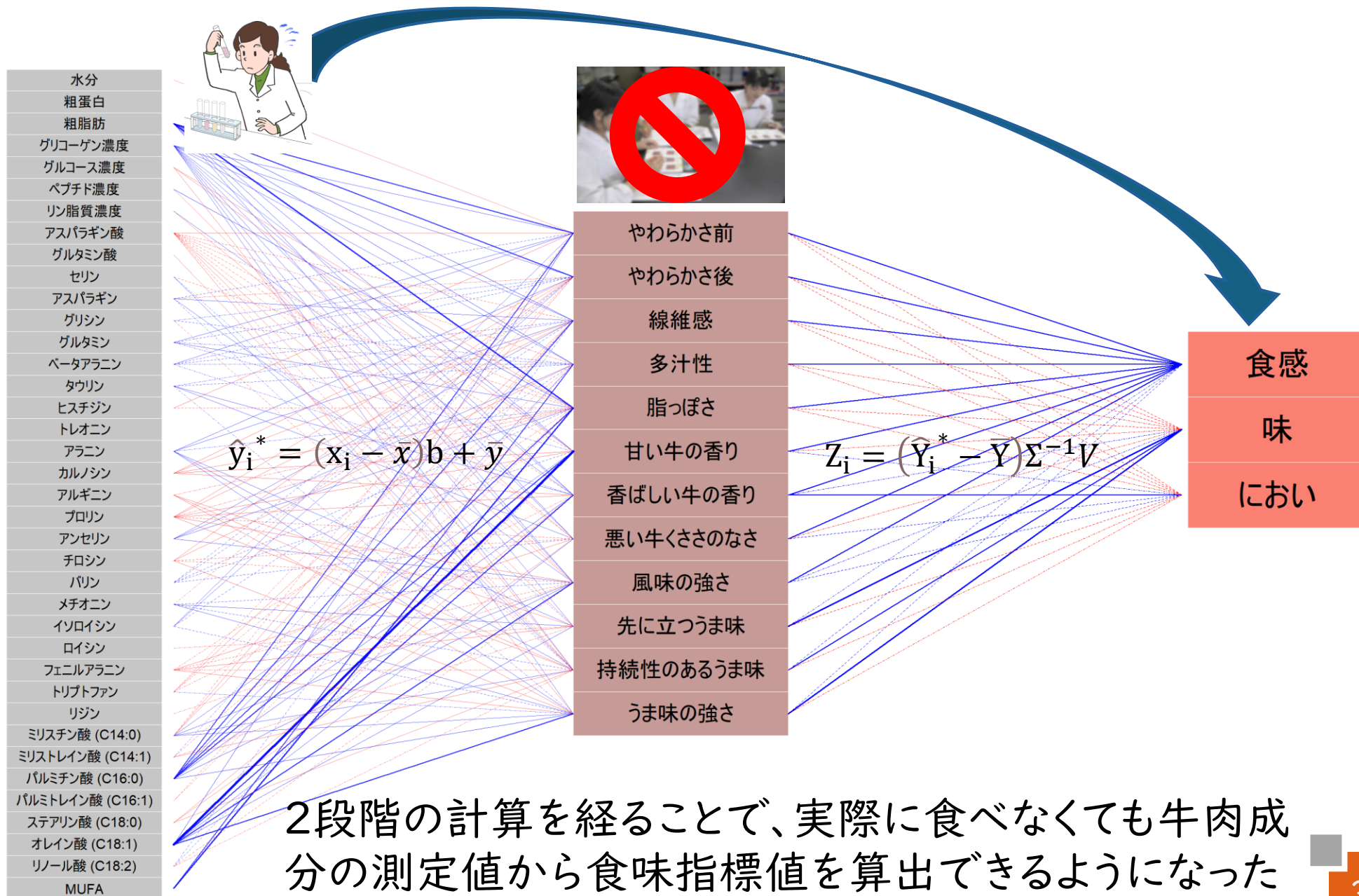
● A農場

● B農場

● C農場



# 食味指標値推定システム



## 現場後代検定候補牛の 食味指標値のゲノム評価

食味をなんとか  
数値化できた



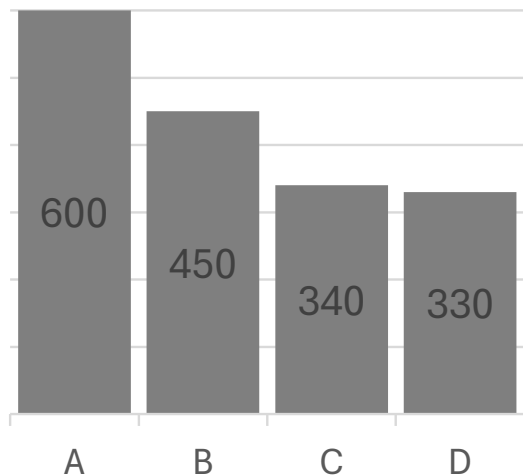
早速、ゲノム育種価  
を計算してみよう



# ゲノム育種価の評価の仕方

測定しただけだと先天的な能力はわからない

■ 遺伝要因 ■ 環境要因



表型値で評価すると  
 $A > B > C > D$



ゲノムDNA  
50,000箇所の  
SNP情報

Group	Phenotypic Value	Feeding Management Information
A	600	[Data]
B	450	[Data]
C	340	[Data]
D	330	[Data]

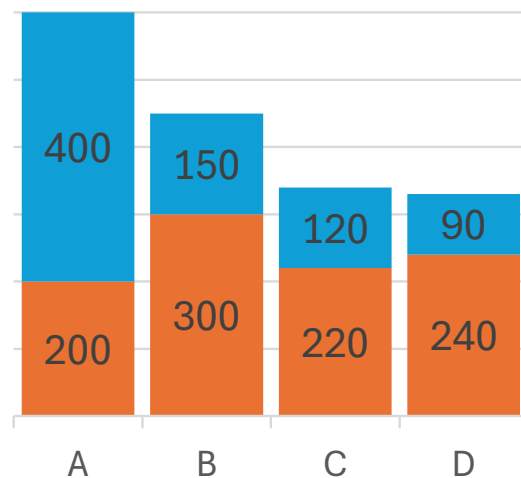
表型値データと  
飼養管理情報



G-BLUP法

統計解析することで遺伝的な能力の割合が判明

■ 遺伝要因 ■ 環境要因



育種価で評価すると  
 $B > D > C > A$

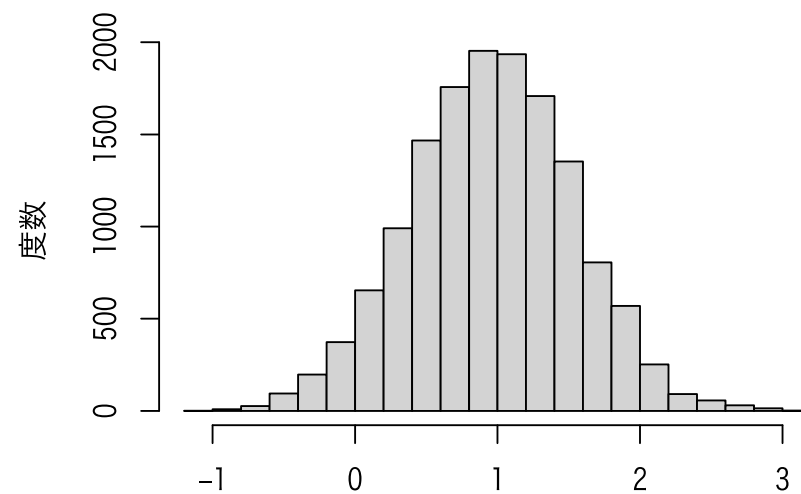
# 材料・方法

- 対象形質：15形質 (PC1~PC3含む)
- 観測数：14,339 (去勢：8,480、雌：5,859)
- 使用SNPチップ：BovineLD、BovineSNP50、XT
- 使用SNP数：39,428個 (call rate >0.9)
  - 低密度SNPデータはインプューテーションにより補完
- モデル：単形質アニマルモデルG-BLUP法  
[記録]=[性]+[農場]+[年・月]+[月齢]+[個体]+[残差]
- 分散推定法：AI-REML法

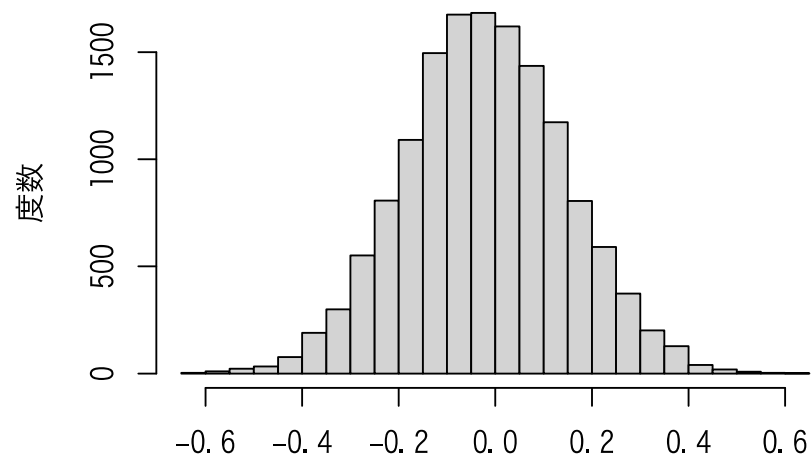


# 表型値のデータ分布

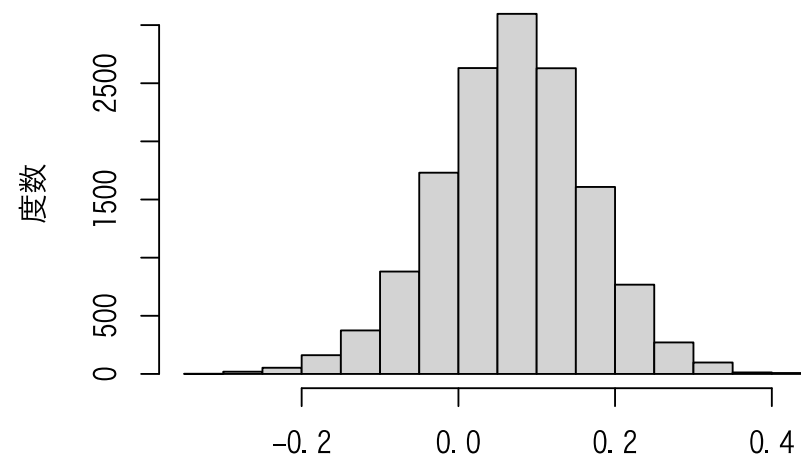
食感 (PC1)



味 (PC2)



におい (PC3)

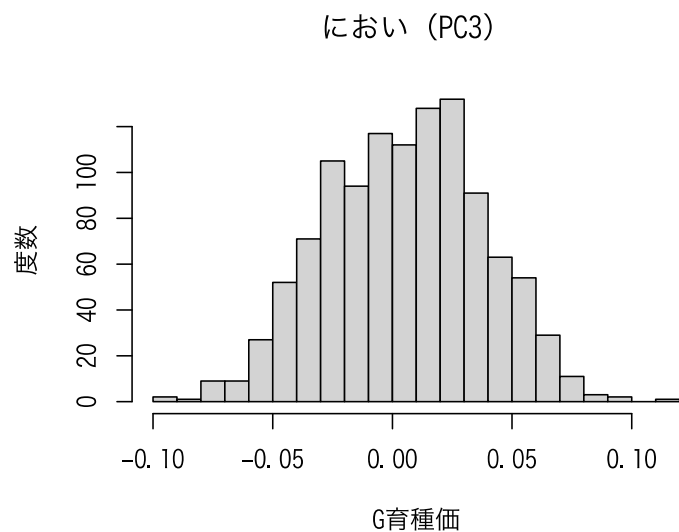
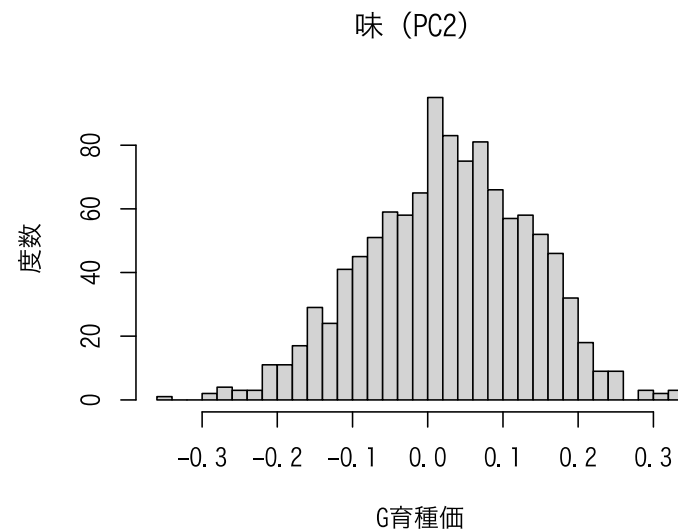
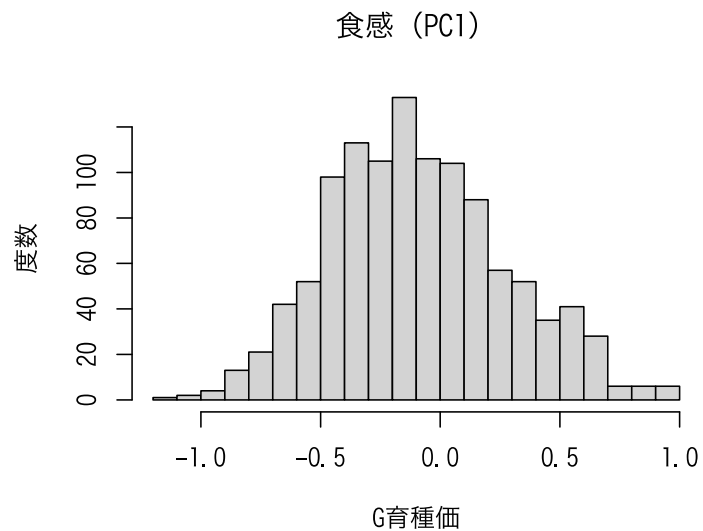




# 遺伝率推定結果

形質	遺伝分散	残差分散	遺伝率	遺伝率の誤差
やわらかさ前	0.0214	0.0294	0.42	0.01
やわらかさ後	0.0230	0.0301	0.43	0.01
線維感	0.0164	0.0214	0.43	0.01
多汁性	0.0140	0.0193	0.42	0.01
脂っぽさ	0.0269	0.0340	0.44	0.01
甘い牛の香り	0.0118	0.0143	0.45	0.01
香ばしい牛の香り	0.0034	0.0058	0.37	0.01
悪い牛くささのなさ	0.0084	0.0107	0.44	0.01
風味の強さ	0.0039	0.0062	0.39	0.01
先に立つうま味	0.0010	0.0030	0.25	0.01
持続性のあるうま味	0.0012	0.0031	0.28	0.01
うま味の強さ	0.0009	0.0024	0.26	0.01
食感 (PC1)	0.1177	0.1601	0.42	0.01
味 (PC2)	0.0103	0.0100	0.51	0.01
におい (PC3)	0.0015	0.0043	0.26	0.01
オレイン酸	4.098	1.811	0.69	0.01
MUFA	3.090	1.804	0.63	0.01
枝肉重量	1150.7	1139.5	0.50	0.01
ロース芯面積	44.13	59.30	0.43	0.01
バラ厚	0.219	0.435	0.34	0.01
皮下脂肪厚	0.255	0.280	0.48	0.01
歩留基準値	1.133	1.417	0.44	0.01
BMS No	1.841	2.039	0.47	0.01

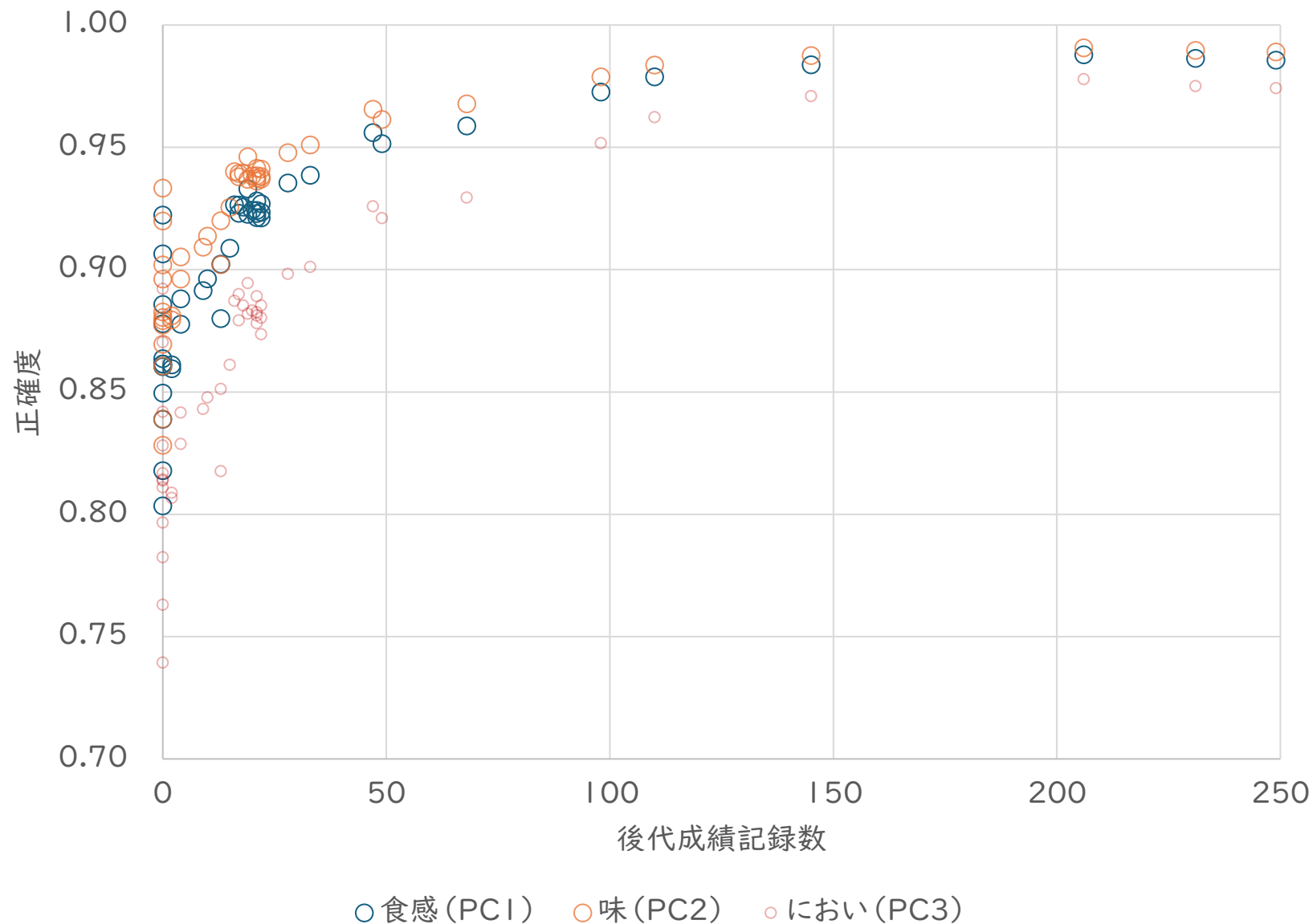
# 種雄牛育種価の分布



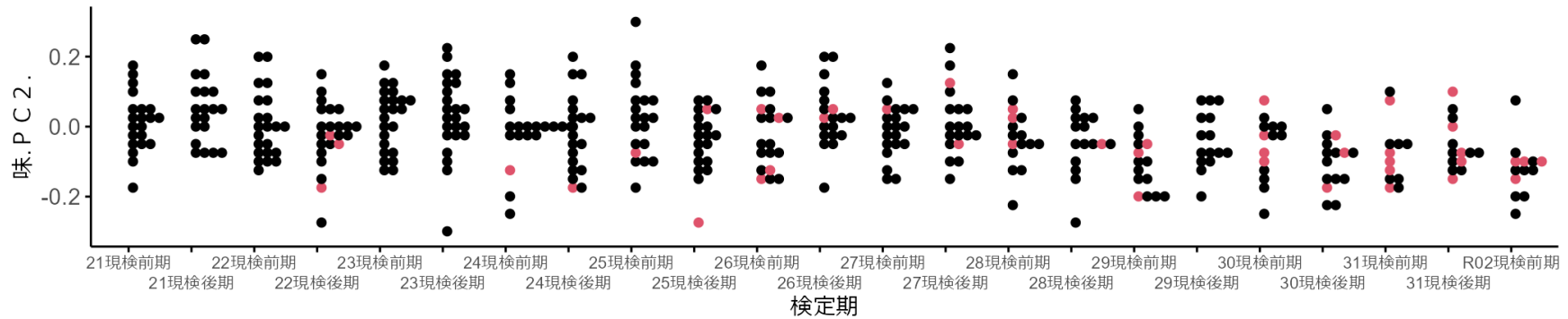
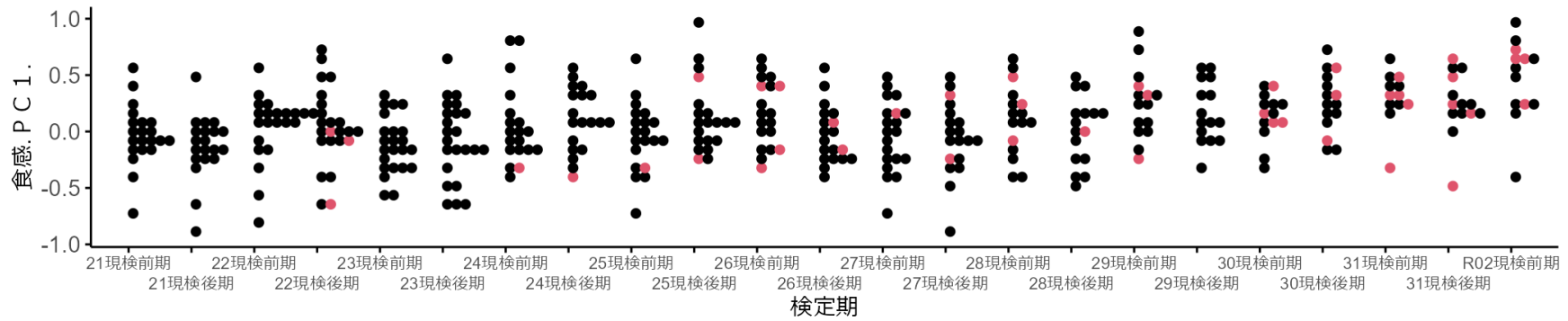
歴代種雄牛、候補牛、待機牛：合計1,113頭

# 種雄牛のG育種価正確度

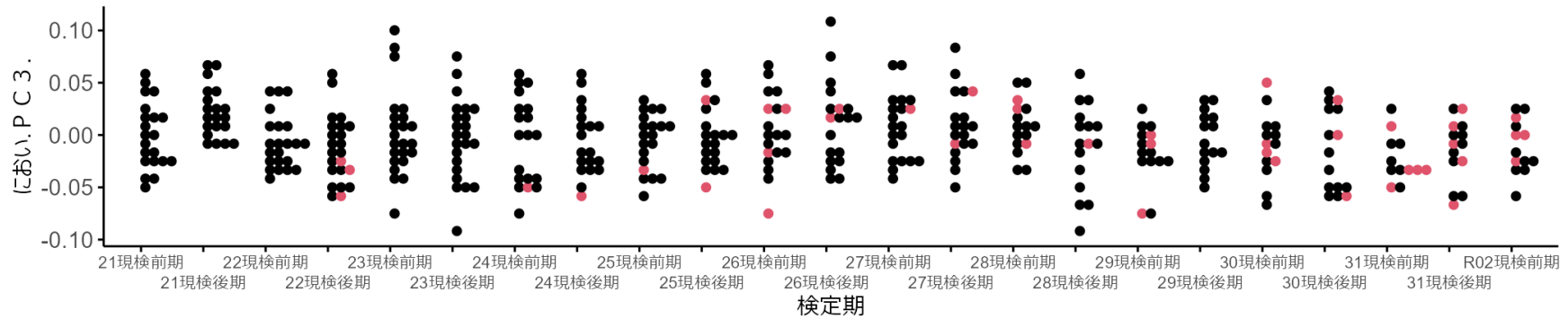
後代数とG育種価正確度



# 候補種雄牛のG育種価結果例 (21前期検定以降:n=417)



● 供用中  
● 選抜漏れ  
及び  
供用停止



21現 検前期	21現 検後期	22現 検前期	22現 検後期	23現 検前期	23現 検後期	24現 検前期	24現 検後期	25現 検前期	25現 検後期	26現 検前期	26現 検後期	27現 検前期	27現 検後期	28現 検前期	28現 検後期	29現 検前期	29現 検後期	30現 検前期	30現 検後期	31現 検前期	31現 検後期	R02現 検前期
21	20	22	23	23	23	19	19	20	20	19	19	20	19	16	16	15	15	14	15	12	14	13

# 本研究によって出来るようになること

SNPデータのみ



食味指標のG評価値

自身の肉のデータがない  
種雄牛の評価が可能に

G評価のリファレンス  
として機能

SNP+成分データ (14,339頭分)



食味指標の推定値とG評価値

(現場後代検定)

成分+官能評価 (631頭分)



食味指標の  
実データ

食味指標値の  
リファレンスとして機能



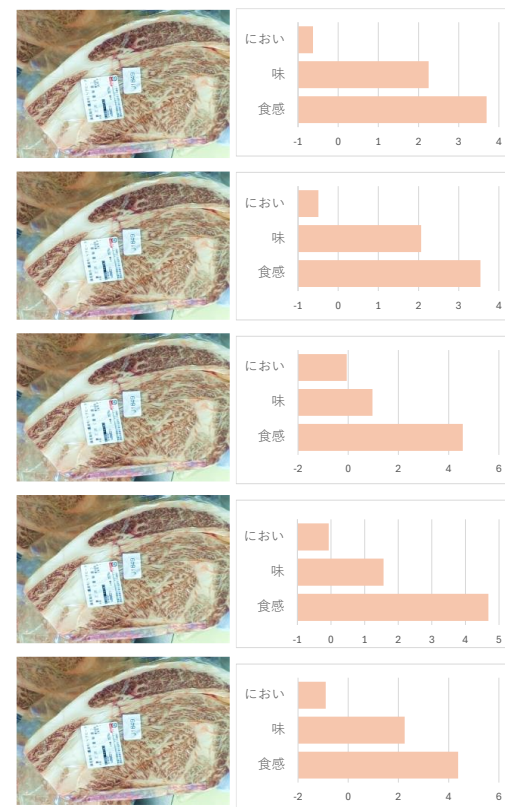
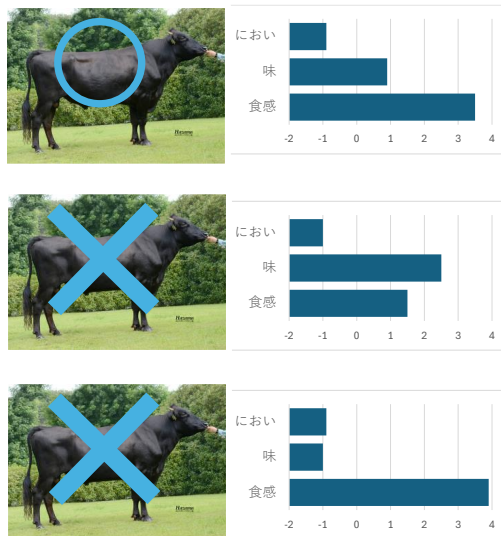
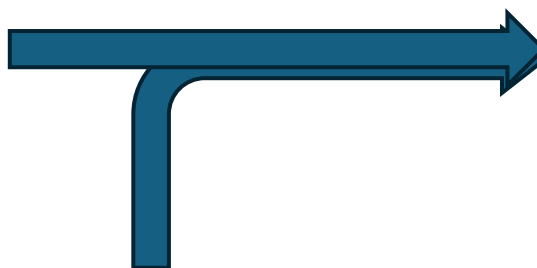
SNP+成分データが充実してくれば、種雄牛だけでなく、繁殖雌牛も評価可能。生産者はSNPタイピングさえすれば自身の牛群の食味の遺伝的な特性を把握できるようになる。

# 将来展望

仮にA3の食味のものが  
ブランド目標と考えるとす  
ると…

ブランド目標に近い食味  
のG評価の種雄牛を交  
配に用いる。

ブランド目標に沿った食味  
品質の牛肉が安定して生  
産できるようになる。



ブランド目標をどう設定するかが鍵。 → マーケティング調査なども必要になる。