



## ひとの目をまねる, 人の目をつかう

東京大学大学院農学生命科学研究科  
附属生態調和農学機構

二宮正士



## 本日の内容

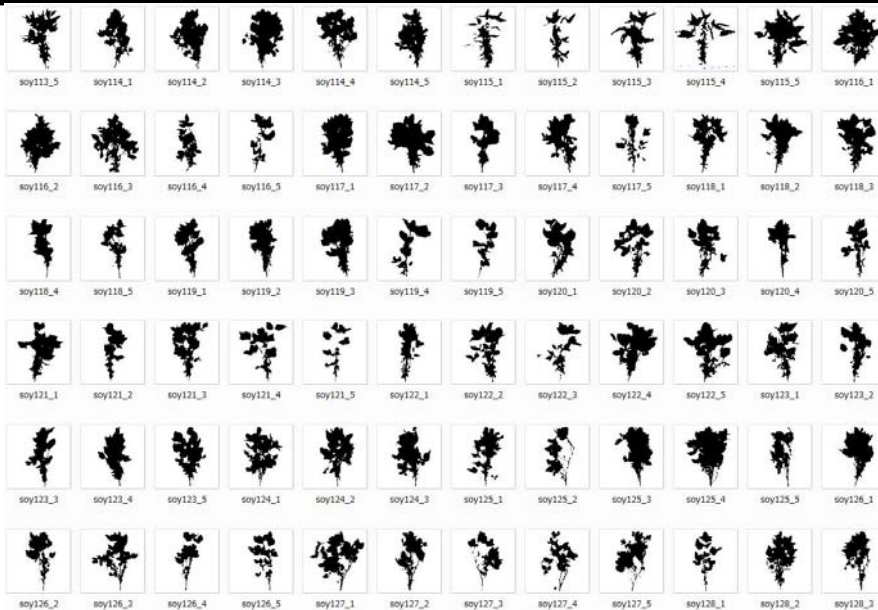
---

- ダイズ育種における目視による草姿選抜の模倣
- 自然光下で撮影された画像からの植物部分の切り取り
- 子供による圃場情報収集

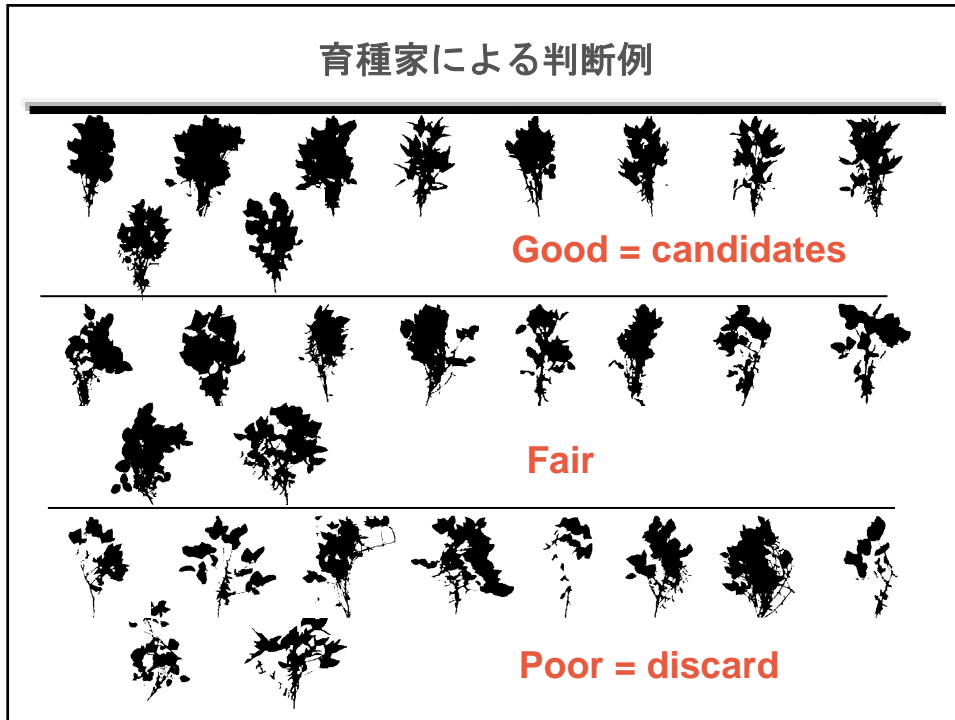
## ダイズ育種における目視による草姿選抜の模倣

- 作物草姿は生産性に影響する重要な形質
  - 受光態勢
  - 耐倒伏性
  - ガス交換効率
  - 雑草との競合性
  - 収穫適性, 栽培管理適性
- 現状は経験のある育種家が目視で判断している
  - 何を見て判断しているかはかなりあいまい
- 果たして機会目の目で育種家の判断を模倣できるか？

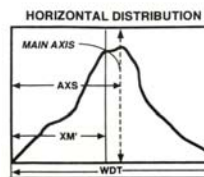
## さまざまなダイズ草姿



## 育種家による判断例

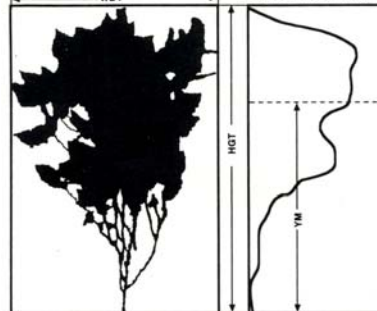


## 特徴量抽出



AREA = Area of Plant Projection (mm<sup>2</sup>)  
 AXS = Position of Main Axis (mm)  
 D = AREA / (WDT X HGT)  
 XM = Mean of Horizontal Distribution (mm)  
 XD1 =  $\beta$ (AXS - XM) (mm)  
 XD2 =  $\beta$ (AXS - WDT/2) (mm)  
 XSD = Standard Deviation of Horizontal Distribution (mm)  
 YM = Mean of Vertical Distribution (mm)  
 $\beta$  = 1000 / HGT (mm)

VERTICAL DISTRIBUTION

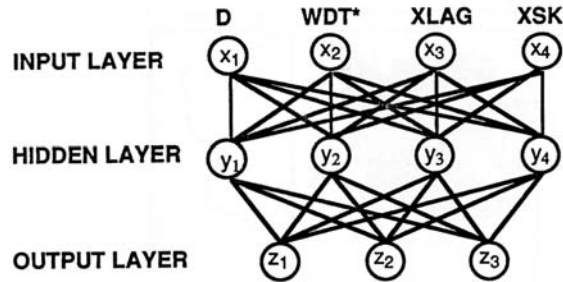


WDT: Width of plant  
 HGT: Height of plant  
 D: Occupation of plant projection in the rectangular  
 AREA: Area of plant projection  
 WDT\*: Normalized width against a unit height  
 XD1: Degree of plant bending  
 XD2: Discrepancy between mid range of X-distribution and the main axis  
 YM: Mean of Y-distribution  
 XSD: s.d. of X-distribution  
 YSD: s.d. of Y-distribution  
 XSK: Skewness of X-distribution  
 YSK: Skewness of Y-distribution  
 XKU: Kurtosis of X-distribution  
 YKU\*: Kurtosis of Y-distribution  
 XFT: Discrepancy of X-distribution from uniform distribution  
 YFT: Discrepancy of Y-distribution from uniform distribution

WEIGHT: Fresh weight  
 PETIOLE: Mean Petiole Length of Upper 5 Nodes  
**SCORE: Shape Scores Given by Expert**

## 判別モデル: 3層パーセプトロン

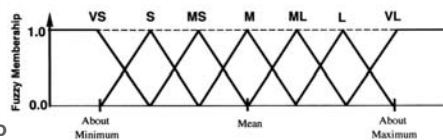
- Feature selection



JUDGEMENT	OUTPUT		
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
GOOD (3)	1	0	0
FAIR (2)	0	1	0
POOR (1)	0	0	1

Ninomiya et. al. (1994)

## 判別モデル: ファジィ判別



Fuzzv rule sets for the soybean shape evaluato

Plant Shape Quality Ruleset

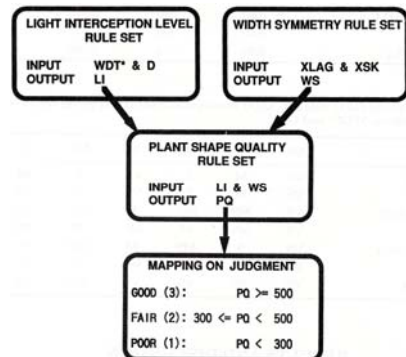
	LI-VS	LI-S	LI-MS	LI-M	LI-ML	LI-L	LI-VL
WS-VS	100	100	100	100	100	100	100
WS-S	100	200	200	200	200	200	300
WS-MS	100	200	300	300	300	300	300
WS-M	100	200	300	400	400	500	500
WS-ML	100	200	300	400	500	500	600
WS-L	100	200	300	500	500	600	700
WS-VL	100	300	300	500	600	700	700

Light Interception Ruleset

	D-VS	D-S	D-MS	D-M	D-ML	D-L	D-VL
WDT-VS	100	200	500	700	700	700	500
WDT-S	100	200	500	700	700	700	500
WDT-MS	100	200	500	600	600	600	400
WDT-M	100	200	400	500	500	500	300
WDT-ML	100	100	200	400	400	400	200
WDT-L	100	100	200	300	300	300	100
WDT-VL	100	100	100	100	100	100	100

Width Symmetry Ruleset

	XSK-VS	XSK-S	XSK-MS	XSK-M	XSK-ML	XSK-L	XSK-VL
XDI-VS	700	700	550	300	200	100	100
XDI-S	700	700	500	300	200	100	100
XDI-MS	600	550	450	200	200	100	100
XDI-M	500	450	400	200	100	100	100
XDI-ML	200	200	200	200	100	100	100
XDI-L	100	100	100	100	100	100	100
XDI-VL	100	100	100	100	100	100	100



Ambuel and Ninomiya (1997)

## 判別性能(クロスバリデーション)

- 1名の育種家による180品種, 875個体の草姿評価データを用いてで学習と評価

Breeder		Model			Total
		Bad	Fair	Good	
Breeder	Bad	161	95	24	280
		0.575	0.339	0.086	
	Fair	89	178	137	404
Breeder	Good	10	35	146	191
		0.052	0.183	0.764	

Breeder		Model			Total
		Bad	Fair	Good	
Breeder	Bad	197	59	24	280
		0.704	0.211	0.086	
	Fair	114	159	131	404
Breeder	Good	12	42	137	191
		0.063	0.220	0.717	

Breeder		Model			Total
		Bad	Fair	Good	
Breeder	Bad	194	76	10	280
		0.693	0.271	0.036	
	Fair	124	170	110	404
Breeder	Good	8	30	153	191
		0.042	0.157	0.801	

Breeder		Model		Total
		Bad+Fair	Good	
Breeder	Bad+Fair	523	161	684
		0.765	0.186	
	Good	45	146	191
Error rate		0.236	0.764	

Breeder		Model		Total
		Bad+Fair	Good	
Breeder	Bad+Fair	529	155	684
		0.773	0.186	
	Good	54	137	191
Error rate		0.283	0.717	

Breeder		Model		Total
		Bad+Fair	Good	
Breeder	Bad+Fair	564	120	684
		0.825	0.186	
	Good	38	153	191
Error rate		0.199	0.801	

## データの見直しと決定木による判別

- 同じ875データに3名の育種家の評価を得て, 同じ評価の325データのみをモデル学習と評価に用いる
- 判別モデルに決定木 (CART)を利用
- 他のモデルも試みたが決定木が最も高性能

Three classes, CV

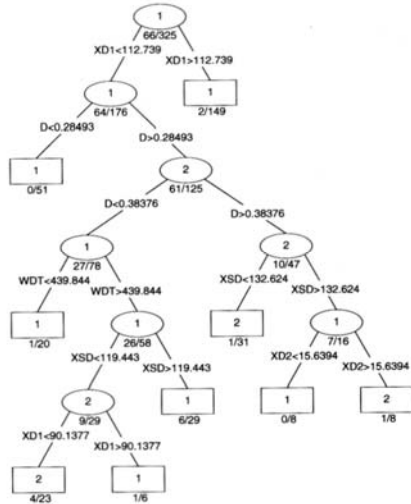
Tree		Model			Total
		Bad	Fair	Good	
Breeder	Bad	150	16	0	166
		0.904	0.096	0.000	
	Fair	27	55	11	93
Breeder	Good	2	7	57	66
		0.030	0.106	0.864	

Two classes, CV

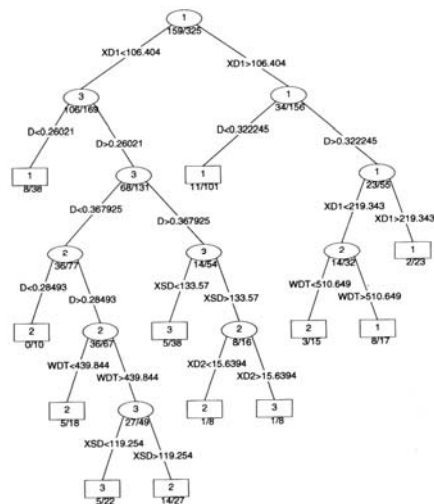
Tree		Model		Total
		Bad+Fair	Good	
Breeder	Bad+Fair	253	6	259
		0.977	0.023	
	Good	10	56	66
Error rate		0.152	0.848	

Ninomiya and Vu (1998)

## 構築された決定木



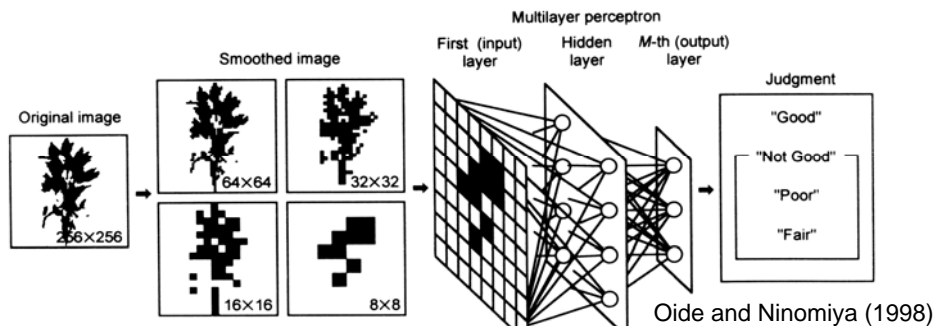
Two classes (5 features out of 18)  
Error rate = 0.05



Three classes (5 features out of 18)  
Error rate = 0.19

## 特徴量抽出無しで判別できないか

- 特徴量抽出が無ければ一気に汎化できる可能性
- 画像データを直接ニューラルネットワークへの入力とする
  - 3名の育種家の同じ評価を得た326データを対象
  - ランダムに選んだ20%のデータでNNを学習し、残りで評価
  - 画像は草丈が同じになるように標準化



## 画像直接入力多層パーセプトロンの判別性能

- 一切の特徴量抽出なし
- NNの収束に膨大な時間
- 最適のNN構造(画像サイズ, 層の数)を決めるのが困難

Two classes, 64X64 Image, evaluation by test data set

MLP		Model		
		Bad+Fair	Good	Total
Breeder	Bad+Fair	206	54	260
		0.792	0.208	
	Good	24	42	66
		0.364	0.636	
Error rate		0.239		

## 線形ニューラルネットワークの利用

- 利用できれば一気に計算コストを低減可能
- データ
  - 3名の育種家の同じ評価を得た326データを対象
  - 20%のデータを学習に使い, 残りで評価
- モデル
  - Hopfield Network
  - Simple peceptron
- 学習データ
  - 学習データの平均画像 = 形状分布

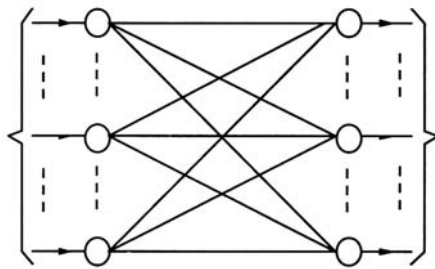


Oide and Ninomiya (2000)

## 単純パーセプトロン

- 学習
  - 単純に連立方程式を解くだけ
- 評価
  - 判別クラスは最も出力値が高いクラスで決定

Input 64 X 64



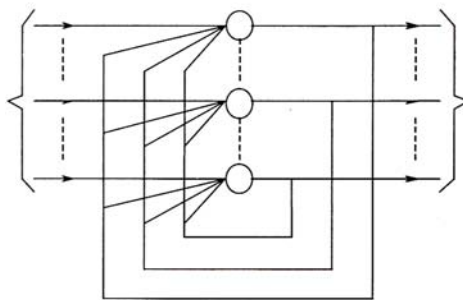
Output

Good	Fair	Poor
+1	-1	-1
-1	+1	-1
-1	-1	+1

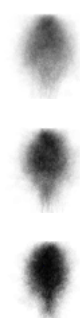
## Hopfield Network

- 学習
  - 単純に連立方程式を解くだけ
- 評価
  - 判別クラスは理想出力と最も相関の高いクラスで決定

Input 64 X 64



Output 64 X 64





## 単純パーセプトロンの判別性能

Two classes, 64X64 Image, Fitting

Fitting		64X64		
SP		Model		Total
		Bad+Fair	Good	
Breeder	Bad+Fair	233	27	260
		0.896	0.104	
	Good	18	48	66
Error rate		0.138		

Fitting		64X64		
SP		Model		Total
		Bad	Good	
Breeder	Bad	142	25	167
		0.850	0.150	
	Good	4	62	66
Error rate		0.124		

Two classes, 64X64 Image, CV

CV		64X64		
SP		Model		Total
		Bad+Fair	Good	
Breeder	Bad+Fair	218	42	260
		0.838	0.162	
	Good	27	39	66
Error rate		0.212		

CV		64X64		
SP		Model		Total
		Bad	Good	
Breeder	Bad	136	31	167
		0.814	0.186	
	Good	5	61	66
Error rate		0.155		

## Hopfield Networkの判別性能

Two classes, 64X64 Image, Fitting

Fitting		64X64		
HF		Model		Total
		Bad+Fair	Good	
Breeder	Bad+Fair	223	37	260
		0.858	0.142	
	Good	17	49	66
Error rate		0.166		

Fitting		64X64		
HF		Model		Total
		Bad	Good	
Breeder	Bad	136	31	167
		0.814	0.186	
	Good	6	60	66
Error rate		0.159		

Two classes, 64X64 Image, CV

CV		64X64		
HF		Model		Total
		Bad+Fair	Good	
Breeder	Bad+Fair	206	54	260
		0.792	0.208	
	Good	23	43	66
Error rate		0.236		

CV		64X64		
HF		Model		Total
		Bad	Good	
Breeder	Bad	133	34	167
		0.796	0.204	
	Good	7	59	66
Error rate		0.176		

## 2クラス判別での結果のまとめ

Models	Input variables	Data	Class			Accuracy Rate		
			Bad	Fair	Good	Overall	Good	Poor
			CV	CV	CV	CV	CV	CV
Fuzzy Logic	4	875	●+●	●	0.76	0.76	0.76	
Linear Discriminant Functio	4	875	●+●	●	0.76	0.72	0.77	
Three Layer Pecptron	4	875	●+●	●	0.82	0.80	0.82	
Decision Tree	5 out of 18	325	●	●	0.95	0.85	0.98	
Three Layer Pecptron	64X64 IMG	326	●	●	0.76	0.64	0.79	
Simple Percptron	64X64 IMG	326	●	●	0.79	0.59	0.84	
Hopfield Network	64X64 IMG	326	●	●	0.76	0.65	0.79	

## 繁茂センサー

- LAI推定の代替



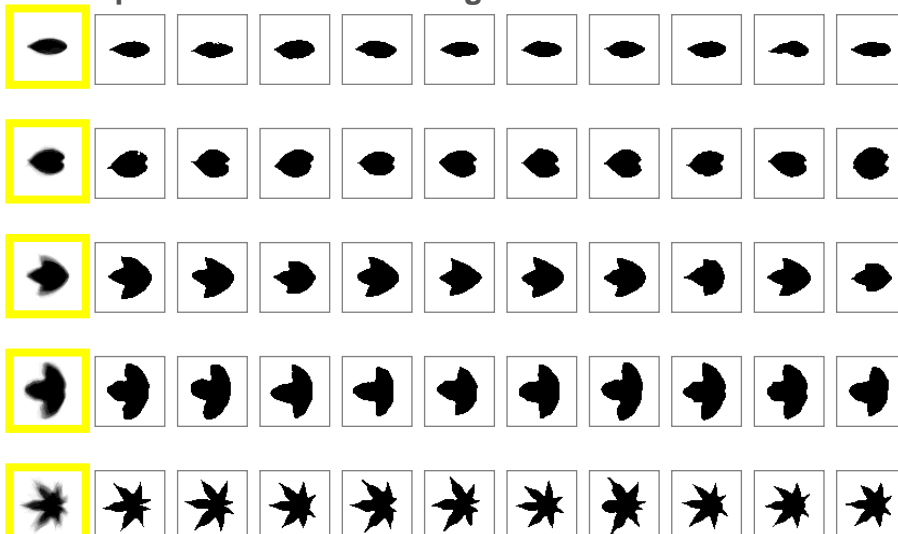
---

## 特徴量非抽出アプローチの汎化性能

---

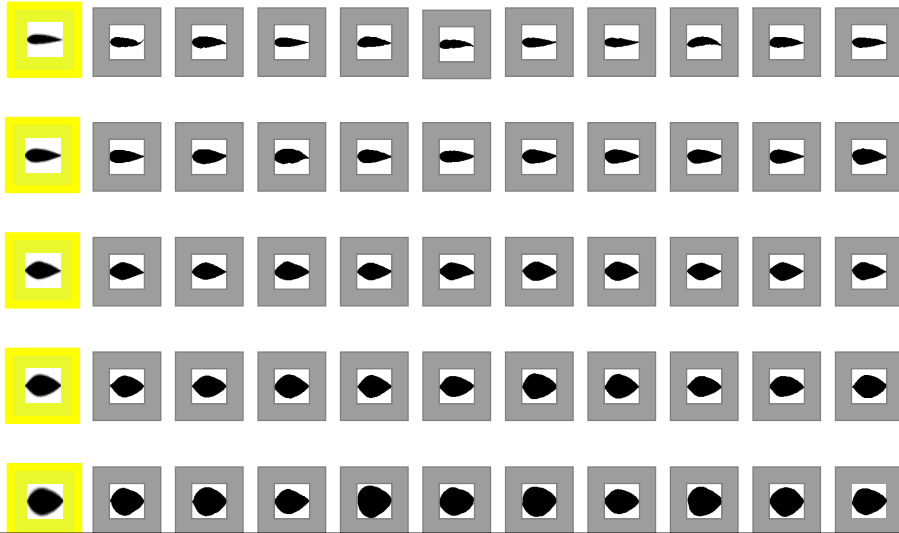
### Maple Tree Leaf (5 class Accuracy rate =0.97)

- A case that both intra-specific variation and intra-specific variation are large



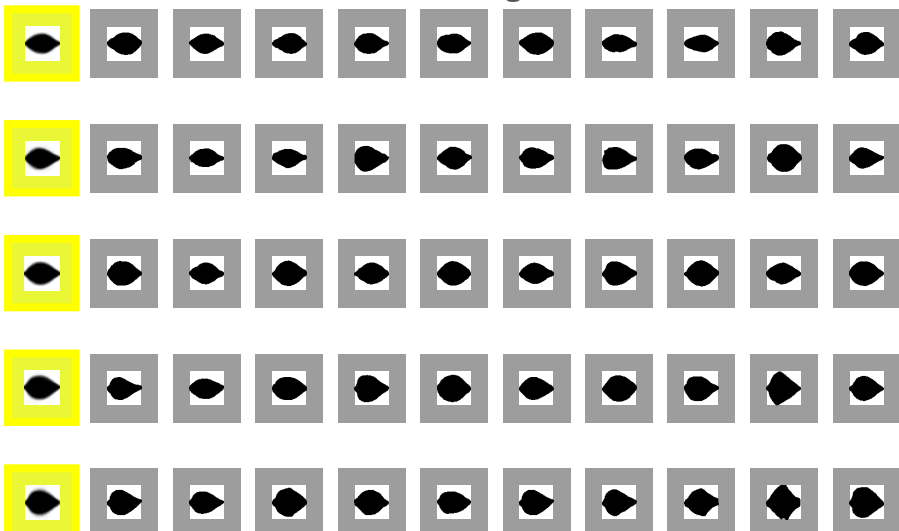
### Soybean leaf (5 class accuracy rate = 0.94)

- A case that inter-cultivar variation and intra-cultivar variation are small



### Buckwheat grain (5 class accuracy rate = 0.47)

- A case that inter-cultivar variation is small while intra-cultivar variation is large



## 画像直接入力モデルの汎用性の評価

- MLP with image input (64x64 images)
- Size was standardized using elliptic Fourier descriptors

Target	Organ	Source of Variation	N	Accuracy Rate CV	
				Number of Classes	
				5	10
Weed	Seed	15 species	450	0.99	0.94
Maple tree	Leaf	14 species	278	0.97	0.8
Tartary buckwheat	Grain	40 cultivars	800	0.75	0.62
Buckwheat	Grain	30 cultivars	720	0.47	0.25
Pear fruit	Fruit	11 cultivars	207	0.86	0.56
Mulberry	Leaf	4 species /10 cultivars	188	0.69	0.54
Soybean	Leaf	41 cultivars	749	0.92	0.53
Mustard	Leaf	30 cultivars	353	0.83	0.49

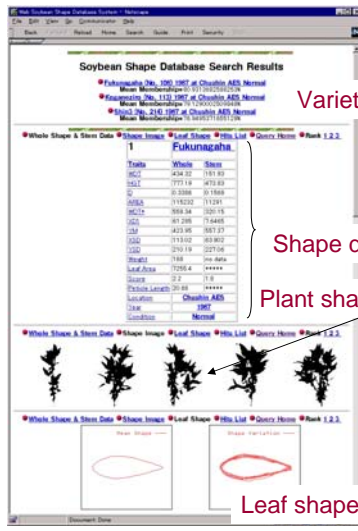
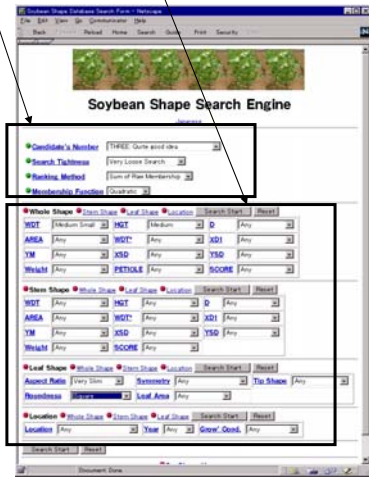
Oide and Ninomiya (2000)

## サイズ要因の付加で判別効率は改善

Target	Organ	Source of Variation	N	Accuracy Rate CV			
				Number of Classes			
				5		10	
				-Size	+Size	-Size	+Size
Weed	Seed	15 species	450	0.99	1	0.94	0.97
Maple tree	Leaf	14 species	278	0.97	0.98	0.8	0.9
Buckwheat	Grain	30 cultivars	720	0.47	0.62	0.25	0.38
Pear fruit	Fruit	11 cultivars	207	0.86	0.87	0.56	0.8
Mulberry	Leaf	4 species /10 cultivars	188	0.69	0.73	0.54	0.62
Mustard	Leaf	30 cultivars	353	0.83	0.9	0.49	0.62

# ダイズ草姿・形状データベース

Fuzzy keyword settings  
Search options



Variety names

Shape data

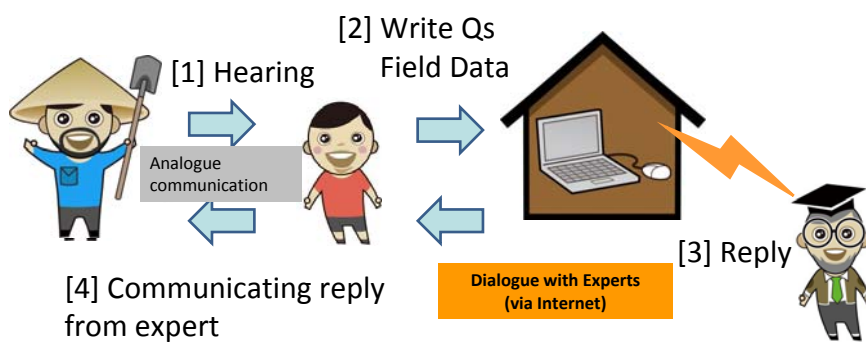
Plant shape images

Leaf shape images

Ninomiya (1998)

子供による圃場情報収集

## YMC Viet general flow



Copyright © 2011 NPO Pangaea

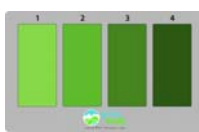
## Tools used in YMC Viet



(1) YMC Viet Passport



(2) Measurement



(3) Leaf color plate



(4) Insect plate



(6) Recharger



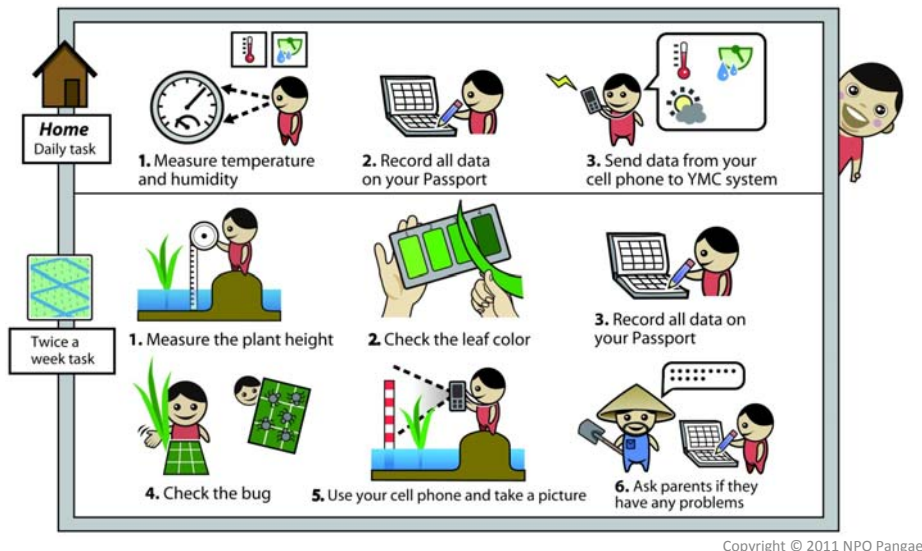
(7) Erasable pen



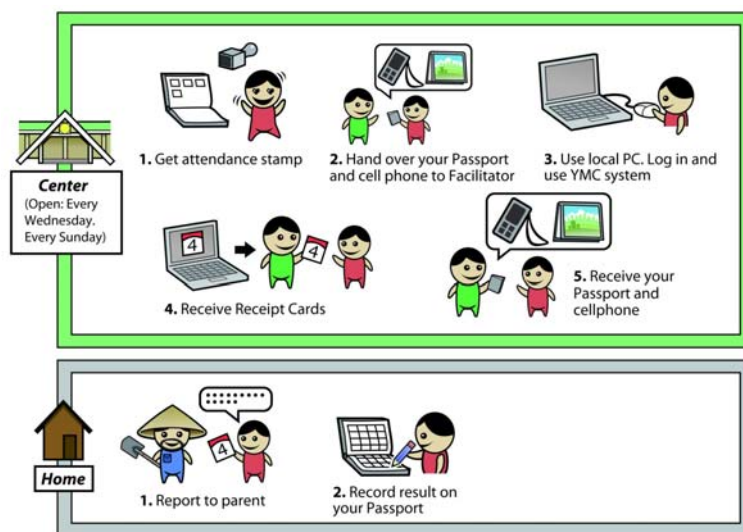
(8) Bag

Copyright © 2011 NPO Pangaea

## Youth Flow 1/2



## Youth Flow 2/2





## In YMC Viet, kids work as sensors

### Air temperature and humidity



Plant height, leaf color, pests  
Plant images



33

## 本日ご紹介した研究は下記の皆さんとの共同成果です

- **ダイズ草姿判別**
  - 生出真里・Vu Ngueyn-Cong (農研機構)
  - 重盛勲・高橋信夫(長野県中信農試)
  - Jack Ambuel (Iowa State U.)
- **植物抽出**
  - 郭 威(東大)
- **子供センサー**
  - 森ゆみ(NPOパンゲア), 石田 亨(京大工)



どうもありがとうございました

二宮正士 [snino@isas.a.u-tokyo.ac.jp](mailto:snino@isas.a.u-tokyo.ac.jp)

