

食・農分野におけるICTの利活用

三重大学大学院生物資源学研究科
食と農業を科学するリサーチセンター
教授 亀岡孝治

6次産業化と農商工連携

- 全産業に占めるGDPの割合(2008年)
 - － 農業食糧関連産業: **9.1%**、農・漁業: **1.1%**
- 狭義の6次産業化: 農業が加工・販売まで手がける
- 現在の(広義の)6次産業化
 - － 農業の新たな産業化(工あるいは商が主導)
 - 加工メーカーが、農業・販売を手がける
 - 販売メーカーが農業・加工を手がける
 - － (事例) 建設業者らが設立した農業生産法人が、耕作放棄地などを活用した野菜の栽培に挑戦
- 農商工連携
 - － 初期ステージ: 農と商・工が連携して商品開発
 - － 新たなステージ
 - 連携してビジネスマッチング
 - 連携して共通課題を解決
- 農業の新たな産業化のための産学連携: 農商工・学連携
 - － 連携の目標
 - 農商工連合体に対し技術移転をすること
 - 農商工連合体と学共同で新しいものを生み出すこと

「食」もAIDEES (アイデス) へ (CGM登場以降)

インターネット型消費者行動モデル: 「あちら側」の世界

6次産業化へのキー: 農産物のスペック(仕様)

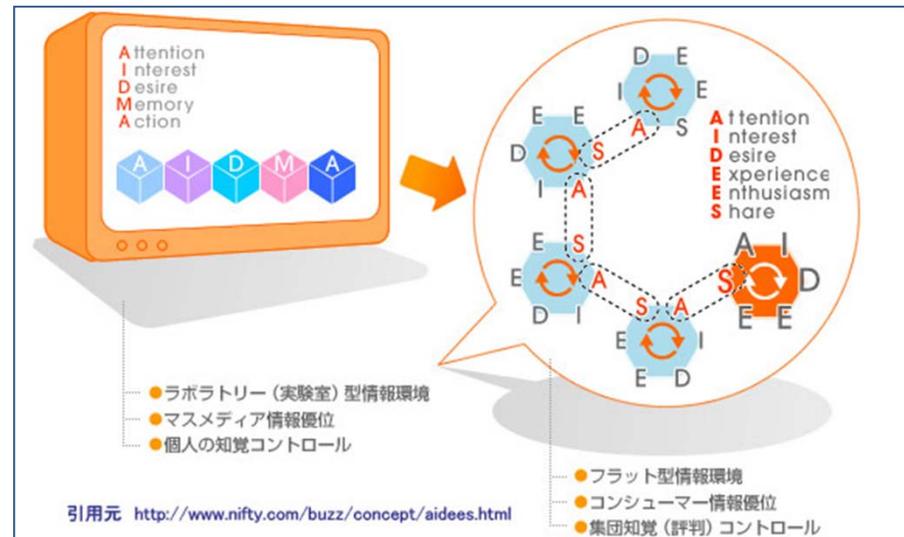
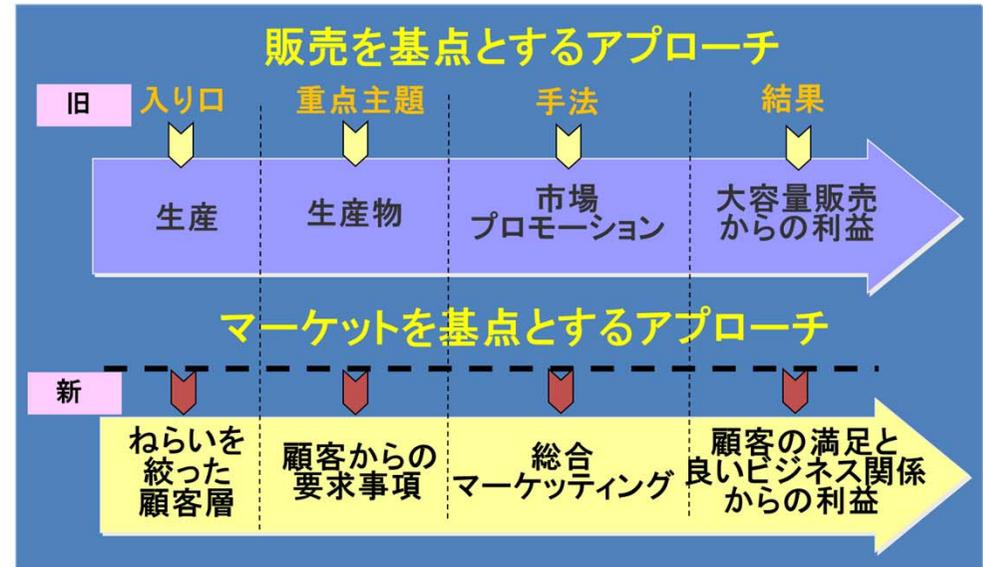
農業現場への要求事項

- ・ **官能品質**
 - 食感(甘い、酸っぱい、苦い、しゃきしゃき感等)
 - 内観・外観(色、形、大きさ、重さ)
 - その他(香り、技術的努力等)
- ・ **成分品質**
 - 機能性などへの要求
- ・ **安全品質**
 - 安全・安心
- ・ **倫理品質(社会的責任)**
 - 表示
 - トレーサビリティ
 - 環境
 - 人権
- ・ **総合的な味作り**
 - その時代の消費者の嗜好の変化と消費の単位
 - 容器(包装)特性や環境配慮

関連する対応・規制など

- ・ 農産物の基準・規格化 (規格、基準の義務化、法制化)
 - ・ 有機JAS
 - ・ 表示JAS改正
 - ・ 食品衛生法(残留基準)の改正
- ・ 農産物の基準・規格化への科学的対応
 - ・ 適正規範
 - Global GAP
 - SQF2000
 - JGAP
 - 適正農業環境規範(農林省)
 - ・ 農産物の品質ISO規格
 - ISO22000、ISO14000、ISO9000
 - SA8000
 - ・ トレーサビリティガイドライン
 - ・ 特別栽培表示ガイドライン
- ・ 検証・第三者監査

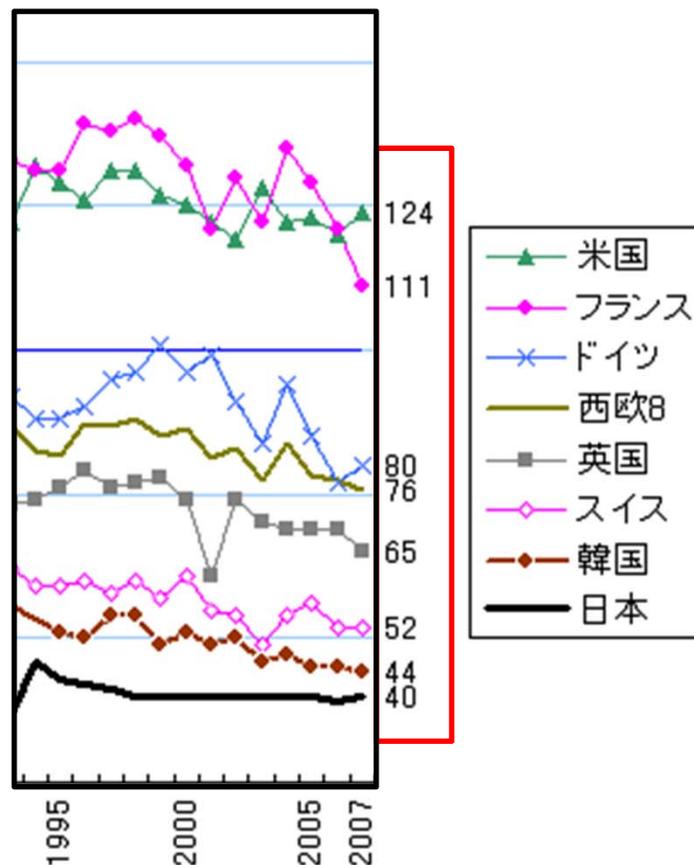
マーケティングコンセプトにおけるパラダイムシフト



主要国の農業GDP比と農林水産業人口 (順位順)

国名	国内総生産 (GDP) (億USD)	農林水産業 生産額 (億USD)	GDP比 (%)	2008年度統計		
				総人口 (万人) a	農林水産業 人口 (万人) b	b / a
中国	43,270	4,873	11.3	134,492	83,391	62
インド	12,539	2,219	17.7	118,141	58,256	49.3
アメリカ	140,967	1,516	1.1	31,167	548	1.8
ブラジル	15,955	911	5.7	19,197	2,241	11.7
日本	49,107	724	1.5	12,729	305	2.4
ロシア	16,766	715	4.3	14,139	1,198	8.5
インドネシア	5,108	680	13.3	22,735	8,783	38.6
トルコ	7,414	580	7.8	7,391	1,551	21
フランス	28,565	513	1.8	6,204	139	2.2
イタリア	23,031	417	1.8	5,960	214	3.6
スペイン	16,042	407	2.5	4,449	218	4.9
メキシコ	10,817	363	3.4	10,856	2,063	19
アルゼンチン	3,333	300	9	3,988	320	8
ドイツ	36,495	287	0.8	8,226	142	1.7
カナダ	15,022	264	1.8	3,326	66	2
韓国	9,291	261	2.8	4,815	251	5.2
タイ	2,822	251	8.9	6,739	2,875	42.7
オーストラリア	10,169	251	2.5	2,107	85	4
フィリピン	1,686	248	14.2	9,035	3,137	34.7
マレーシア	2,214	227	10.3	2,701	352	13
イギリス	26,663	216	0.8	6,146	94	1.5
ベトナム	906	200	22.1	8,710	5,576	64
オランダ	8,710	138	1.6	1,653	43	2.6
サウジアラビア	4,676	109	2.3	2,520	148	5.9
ニュージーランド	1,264	79	6.3	423	33	7.8
スウェーデン	31,569	65	0.2	921	25	2.7
スイス	4,917	54	1.1	754	40	5.3
イスラエル	1,995	34	1.7	705	13	1.8
EU27	183,259	3,010	1.6	49,500	2,321	4.7

自給率(カロリーベース)



農家1戸当たり農地面積国際比較

- 日本(北海道) 1.8(20.5)
- アメリカ 181.7(99倍)
- ドイツ 41.2
- フランス 45.3
- イギリス 57.4
- 中国 0.5
- 韓国 1.5
- EU 16.9(9倍)
- オーストラリア 3,407.9(1862倍)

(資料) 農林水産省「食料自給率の部屋」(<http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/index.html>)

日本農業の現状

- 65歳未満の男子がいる専業農家は全農家の一割。
全農家の6割が兼業所得の比率が高い兼業農家
- 兼業農家は主業農家、サラリーマン世帯より平均的には高所得
 - 兼業農家:792万円、専業農家:664万円、サラリーマン世帯:646万円
- 兼業農家は米の生産に集中
 - 野菜:18%、牛乳:5%、米:62%(サラリーマンの片手間でも可能)
- 低い米の単収・狭い耕地面積
- 日本の主業農家に向いている作物は野菜と畜産
 - 農業総生産額:8.4兆円(米:1.9兆円、野菜:2.1兆円、畜産:2.6兆円)
 - 野菜と畜産の耕作面積あたりの生産額が米より大きい
- オランダが目指すべき1つのモデル
 - 純輸出率(農産物の輸出額と輸入額の差)が最大(米は2位)
 - 野菜や畜産物を大量に輸出
 - 穀物(小麦やトウモロコシなど)は大量に輸入
(食糧自給率は日本の半分ほど)

農業におけるITの概観

高度技術の導入

- 通信インフラ
(有線電話→FAX→携帯電話→インターネット)
- 情報システム
インターネット + センサー + データベース
- データセンシングおよび計測・制御技術
プリハーベスト : 農業機械の高度化
ポストハーベスト : 非破壊計測技術
リモートセンシング(RS)
- RS・GPS・GISの応用
精密農業

20世紀農業の功罪

- 高い生産性を達成する一方
 - 高環境負荷
 - 農薬, 肥料による水汚染
 - エコシステム破壊
 - 水源枯渇, 土壌疲弊
 - 高エネルギー消費型
 - 食品の安全安心問題
- 現在でも食料需要は増大中
 - 人口増(20万人/日)
 - 経済成長に伴う食肉消費の増大
 - 作物のエネルギー資源化の加速
 - 地球温暖化や極端気象災害の頻発
 - 耕作可能地や利用可能水の限界



これからの栽培現場で必要なこと 栽培データの計測をすること

- 1、環境データ
- 2、育成データ
- 3、病虫害データ
- 4、施肥、施農薬データ
- 5、作業データ
- 6、収穫データ
- 7、エネルギー使用データ

栽培データを
データ化して
因果関係を
明確にする

品質向上(高品質
省農業)
病虫害の予防、防除
生産性向上
省エネ
生産予測

農業ICT研究の流れ(農水プロジェクトを中心に)

フィジビリティスタディ「農林水産業における高度情報システムの開発に関する調査」(1996)

「増殖ベース」プロジェクト
(1997-2000)
「協調システム」プロジェクト
(2001-2005)
コーヒー農園(UCC, ハワイ)
での実証実験(2002)

ユビキタス環境制御技術
UECS(2004)

(2006) Web2.0農業フィジビリティスタディ

ヒマラヤにFieldServer設置 慶応大学(2007)



- ・圃場や温室の情報を効率的に収集する
FieldServer - 畑を計測し見張る -
光センシング - Optical Farming -
- ・生産者・流通・消費者を結びつける
VIPS特許と農産物情報のユビキタス化
- ・大量のデータを分かりやすく整理・分析する
計測データXML標準 **BIX**
植物工場の計測データXML: **BIX-pp**
- ・膨大な文書情報を意思決定に役立てる
・ばらばらの情報を結びつけ連携させる
データ仲介 **MetBroker**
- ・プロジェクトに連携した農業現場から
CYFARS - 十勝農家の挑戦 -
<http://zoushoku.narc.affrc.go.jp/DataModel/>

一般社団法人 **ALFAE (2007-)** <http://www.alfae.org>
Area-wide e-Laboratory for Food, Agriculture and Environment
アジア・太平洋 食・農・環境情報拠点
産官学で構成される非営利の農業IT専門家組織

会長	: 三重大学大学院生物資源学研究科	教授 亀岡孝治
副会長	: 東京大学農学生命科学研究科生態調和農学機構	教授 二宮正士
副会長	: 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター	チーム長 平藤 雅之
副会長	: NECシステムテクノロジー株式会社 システムテクノロジーラボトリ	所長 島津 秀雄

農業用センサーネットワークeKo(2008) e案山子(2009) アグリサーバー(2010)

「農匠ナビ: 農家の作業技術の数値化及びデータマイニング手法の開発」プロジェクト
九州大学・慶応大学・東海大学・中央農研・富士通・日本食糧連携機構・静岡県農林技術研究所・滋賀県農業技術振興センター
アドバイザー: 東京農工大 澁澤栄、東京大 二宮正士、三重大 亀岡孝治、NECST 島津秀雄
(2010-)

農業センサーネットワークにおける計測項目

- **光**: エネルギー(光合成) **積算日射量**
- **温度**: エネルギー(代謝) **積算温度**
- **光**: 情報(光形態形成、気孔の開閉)
- **温度**: 情報(春化や休眠打破)
- 光合成のための物質吸収

- **二酸化炭素**(大気中: 400ppm)
気孔(葉)は二酸化炭素の入口
- **水**(土壌水分: 水ポテンシャル) 根

蒸散

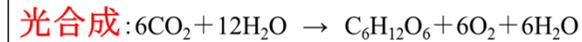
- 植物体温度の上昇を防ぐ
- 養分吸収
(凝集力による蒸散流(気孔が出口))

蒸散作用に影響する要因

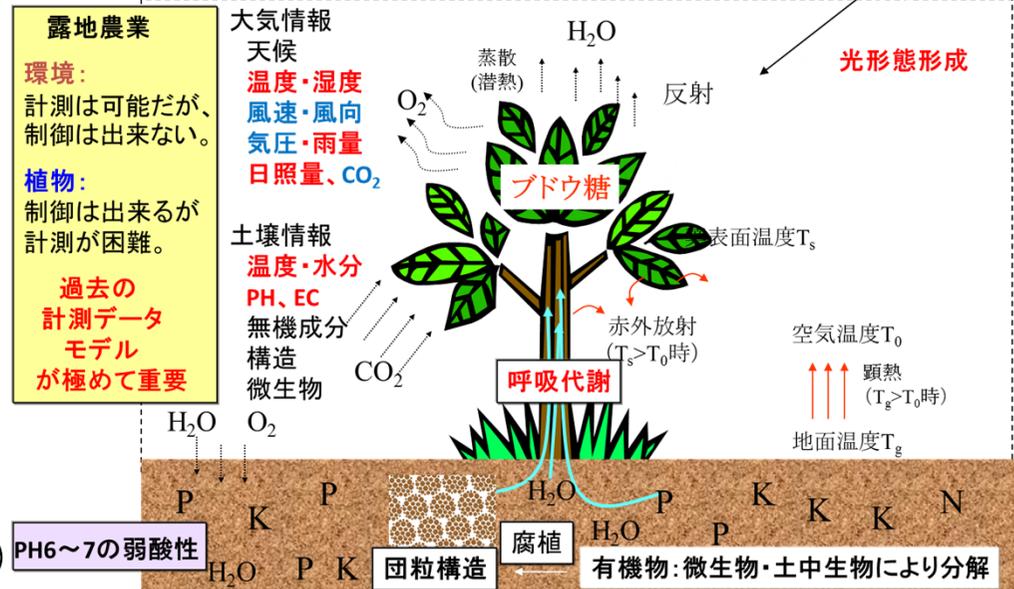
- **湿度**: ある温度での飽差(飽和蒸気圧と実際の蒸気圧との差)が大きいほど(乾燥しているほど)蒸散量は大きい、蒸散作用は活発になる。
- **風**: 風は蒸発を促進。気孔を通して蒸発した水蒸気を風が吹き払い、乾燥した空気を送り込むため、蒸散する量は風速の平方根に比例して増加。
- **温度**: 気温が高くなるほど蒸散する量は大きい、単位水蒸気量が大。

土壌

- 物理的な視点。 **水分、水ポテンシャル**。 団粒構造
- 化学的な視点。 **pH**、 土中 **ミネラル**
- 生物学的な視点。 **土壌微生物**



光



フィールドサーバ・ファミリーによる多面的情報収集

高品質ミカン生産のためのフィールドサーバ利用技術の確

平成21～22年度研究成果実用化促進事業(農林水産省補助事業)

自動 時系列的な情報蓄積が必要なところ
 → フィールドサーバの利用 (FSCP)



手動 現場での調査記録が必要なところ
 → 携帯電話の利用 (MPCP)



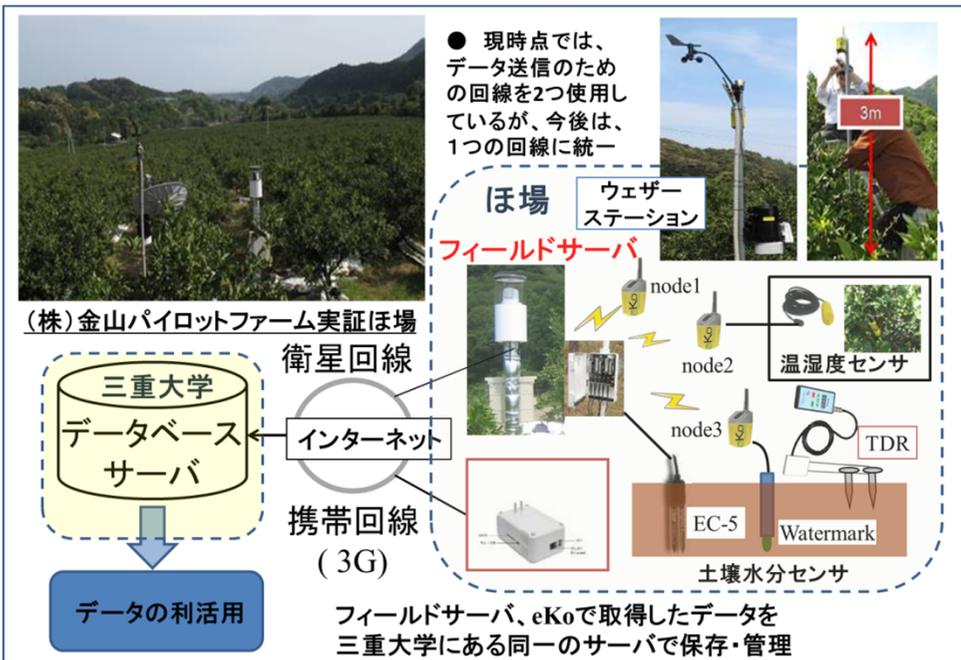
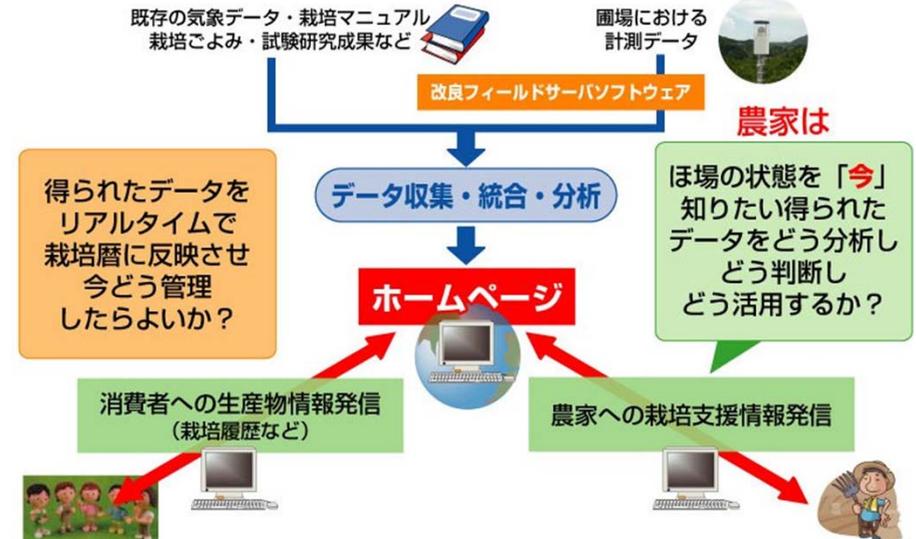
→ パソコンの利用 (PCCP)



何を測れば良いのか?

実用的な
水分ストレス指標
(CCP)

CCP : Critical Control Point
 FSCP : Field Server Control Point
 MPCP : Mobile Phone Control Point
 PCCP : Personal Computer Control Point



サントリー登美の丘ワイナリーにおけるセンサーネットワーク

ワイナリーのブドウ畑が典型であるが、果樹園におけるセンサーネットワークは世界中で広く実証実験が始まっている。

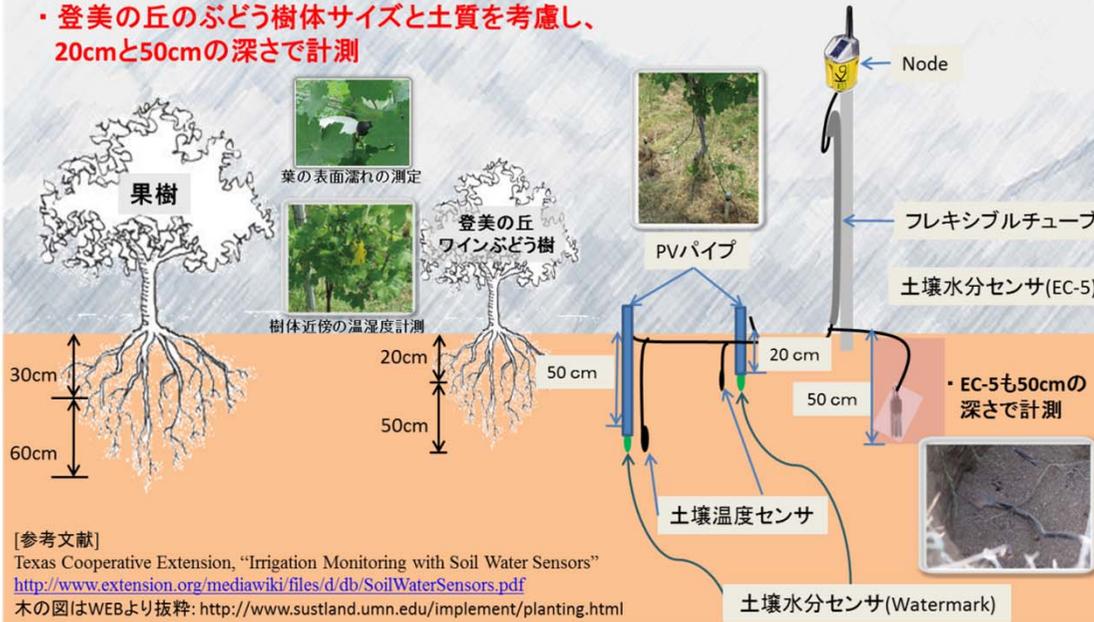
フィールドサーバは世界で最初の実用型の農業用センサーネットワークである。

Google Map上での最新データ表示 (センサー設置位置と外観)



Watermark(土壌水分/土壌温度センサ)とEC-5土壌含水量センサの埋設深、樹体近傍の温湿度計測および葉の表面濡れ測定の見直し

- 根域の土壌水分の把握には、複数点の深さでの測定が必要
- 根を深くはる作物を対象とする場合は、約30cmと約60cmまたは約91cmの2点で計測
- 登美の丘のぶどう樹体サイズと土質を考慮し、20cmと50cmの深さで計測



[参考文献]
Texas Cooperative Extension, "Irrigation Monitoring with Soil Water Sensors"
<http://www.extension.org/mediawiki/files/d/db/SoilWaterSensors.pdf>
木の図はWEBより抜粋: <http://www.sustland.umn.edu/implement/planting.html>

[検測ページ](#) [グラフ閲覧ページ](#) [アメダス風ページ](#)

取得データの利活用

グラフによるほ場の確認

センサーにより取得したデータを、**[土壌水分データ]** [農業気象データ]として、グラフの閲覧が可能。
(右のサンプル図は土壌水分データを表示)

グラフ表示の切り替えは、**[24時間]** [1週間] [1ヶ月] [3ヶ月] [すべて]に対応。

灌水管理の目安やほ場の経時変化の把握等、様々な用途での利用が可能。



アメダス表示形式データ

ウェザーステーションで計測している**[気温]** [湿度] [日射量] [雨量] [風向] [風速] [気圧]のデータを、アメダスに準拠したかたちで閲覧可能。
(右のサンプル図は旬別データを表示)

表示データはCSV形式でダウンロードでき、表計算ソフトウェアで解析するなど、他システムとの連携も可能。

計測データ利活用のための農業定石(定跡)

科学的栽培レシピ構築

植物生理(法則・原理)をセンサ情報の関係で整理

- 根から水分を吸収して茎を通り葉に供給する生理現象。
- 法則・原則は不変。
- すべての圃場の作物で適用可能。
- 病害虫、土壌病、生理障害に対応可能。

センサ情報と植物生理に基づく栽培定石集

- 作物毎の標準栽培レシピ
- 栽培側から考えるセンサー配備提案
- 栽培の専門家で作る科学的知識体系

鳥獣害対策



果実近傍に設置し、測定

- 果実周辺の温度が蔗糖の転流に影響
- 長期的には、20°C~25°Cで糖蓄積量の増加
[参考文献]果樹園芸大百科1 カンキツ, (2000)

栽培暦からe-栽培暦へ

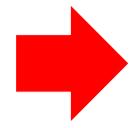
- 栽培暦は、農作物の生育ステージに合わせ、品質目標達成のための栽培管理または作業を表したもの。地域における作物の実態を多々記述するもの。
 - ・ 産地形成のための農業環境条件 (標準的な条件を前提)
 - ・ 農産物の生産に必要な環境資源の実態 (標準的な状態を前提)
- 空間と時間の両方に広がりをもつ。空間と時間をつなぐ有効な価値を有する。

	1月			2月			3月			4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
生育状況 (カンキツ果実) (果樹園芸大百科)	花芽分化期						開花期			細胞分裂期			早期落果			細胞肥大期			液胞発達			成熟期														
生育状況 温州品種 (三重県)	休眠期			花芽分化期			新梢伸長期 開花期			生理落果期 幼果期			果実肥大期			果実肥大期			極早生着色開始期			早生着色開始期														

	1月			2月					
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬			
生育状況 (カンキツ果実) (果樹園芸大百科)	花芽分化期						萼片形成期		
生育状況 温州品種 (三重県)	休眠期			花芽分化期					
基準温度	10℃								
地上部 生理・生体のための温度条件 (情報としての温度)	花芽分化促進条件 ・日最低温度の15日積算 < 50℃ ・(日平均気温-10℃)の15日積算 < マイナス(-)の値、おおむね-40℃以下 ・日平均気温の15日積算 ≤								

必要な要件

- ・対象作物の生育ステージ(例:上記の表)
- ・ステージごとの科学的根拠に基づく環境条件
又はルール(例:左記の温度条件)
- ・対象地域の平年値(比較用)→**気候変動大**
- ・対象作物の栽培暦
- ・ガイドに必要なデータ取得のための
ほ場環境計測・樹体情報取得

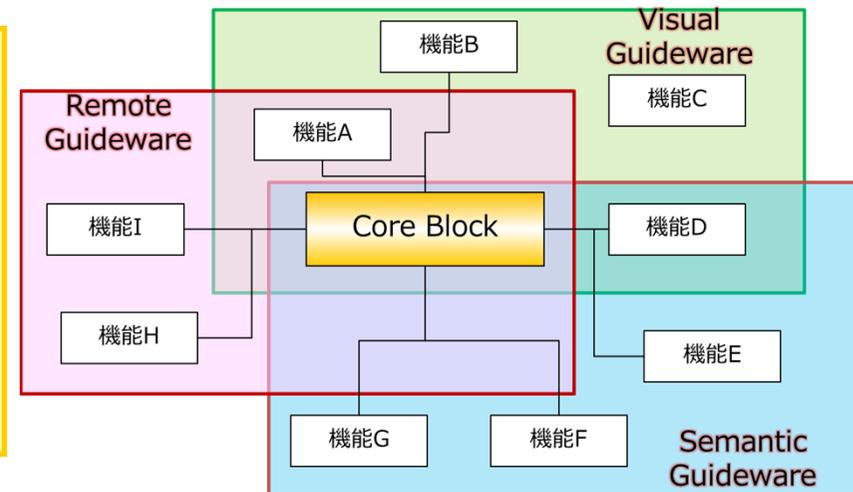


- ・センサーネットワークを用いた
現場微気象・土壌水分・植物状態計測
- ・栽培シナリオの時間軸・空間軸での移動

ソフトウェア第1の考え方の重要性

Guideware = Guide + Hardware + Software

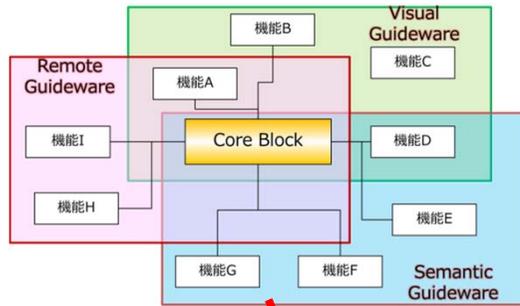
- 農業者の意志決定のサポート
- 科学的栽培支援のためのツール
- 携帯型ツールのソフトウェア
- ソフトウェアからハードウェアへ
- コストがかからないサービス農業クラウド
(食・農連携を目的)



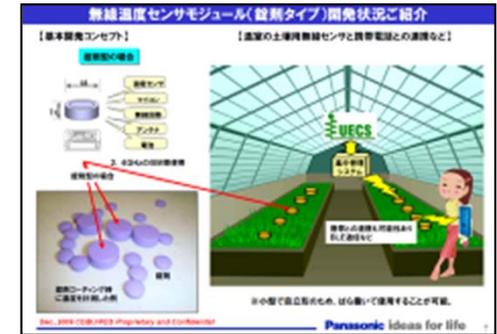
- 人(営農者・ユーザ)を重視する。
 - ユーザと支援ソフトウェアの構造を決定(遠隔支援: **リモート・ガイドウェア**)
 - **暗黙知を形式知**に組み上げる努力 (知識ベースの整備: 時系列と空間)
- 人とセンサの役割分担で形式知を構造化
 - **セマンティック・ガイドウェア**(情報循環: **Linked Open Data**によるデータ共有)
- 必要となるセンサの性格を吟味
 - **精度**が重要? **変化の把握**が重要? 安定稼働? 必要なセンサを決定!
- **ビジュアル・ガイドウェア**の設計
 - **イメージ**を多用(暗黙知を伝える努力)、人とクラウドを繋ぐ
 - **e-栽培暦**(計測環境値に連動してシナリオが時間軸・空間軸を移動)

e-案山子のビジネスモデル - AgriPlatform Alliance by ALFAE -

「農地におけるセンサーネットワークプラットフォーム」
および
「クラウド上の農業アプリケーションプラットフォーム」
を構築し、オープンなビジネスモデルを展開

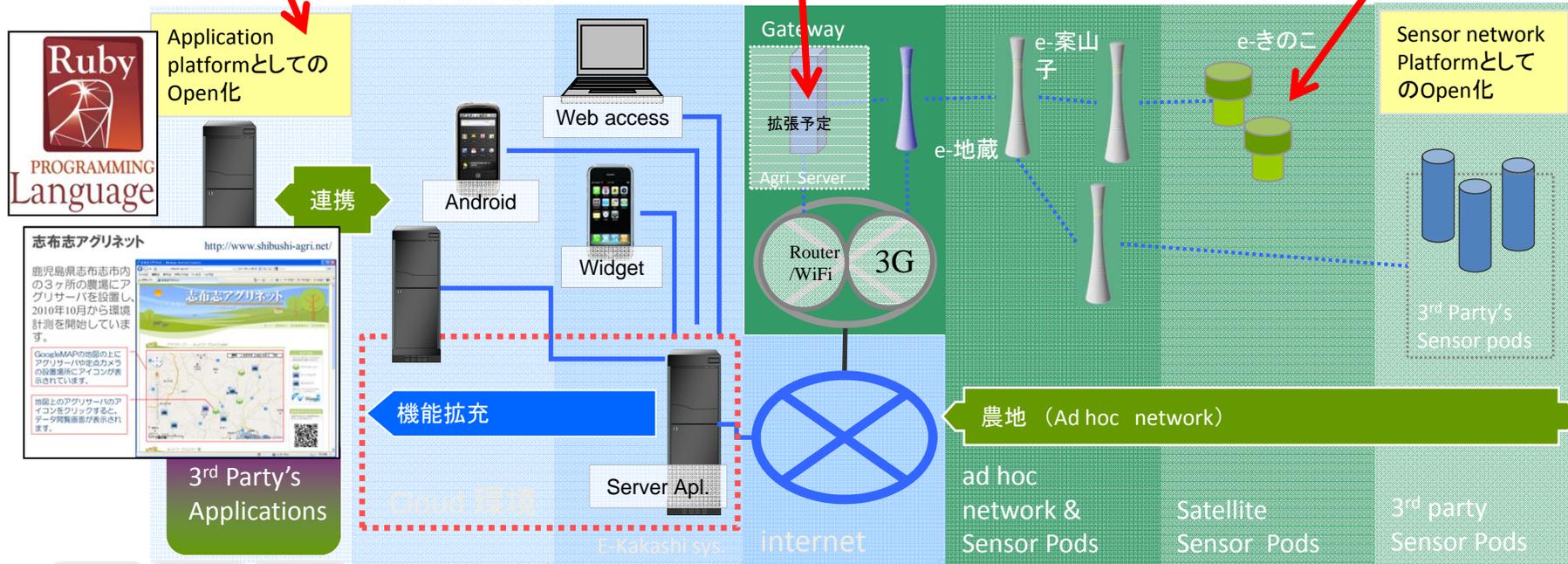


フィールドサーバ
アグリサーバ



e-kakashi Ad hoc Sensor network platform

e-kakashi Application Platform



BIX
(Bio Information eXchange)

新たに標準化が必要

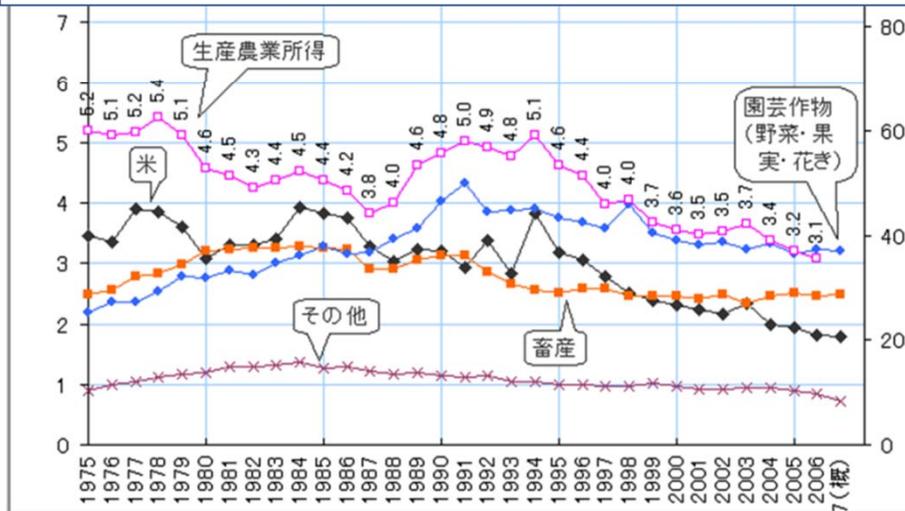


施設栽培から植物工場へ

科学的農業生産システムを目指す ICTによる効率的な情報蓄積

- 環境などのデータを測定して**定量化**しておき、
- コンピュータなどで高速に調べられるように電子化して**記録**しておき、
- データマイニングなどのITを使って、いろいろな種類のデータと対比させて**点検**し、
- 新たな**経験**や**発見**を**効率的**に行っていく必要がある。

農業生産と農業所得の金額推移



(注) 最新年は概算値 (資料) 農水省「生産農業所得統計」「農林水産業生産指数」

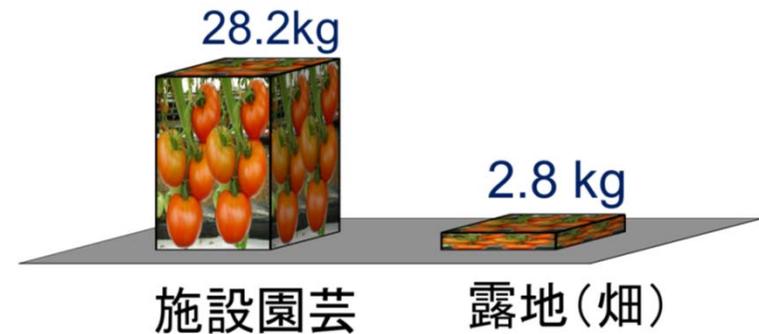
養液栽培による節水栽培

新鮮重 1 kg 果菜を生産するのに必要な水量(L)



Source: ICARDA-QNFSP 古在豊樹 千葉大学
環境健康フィールド科学センター 提供

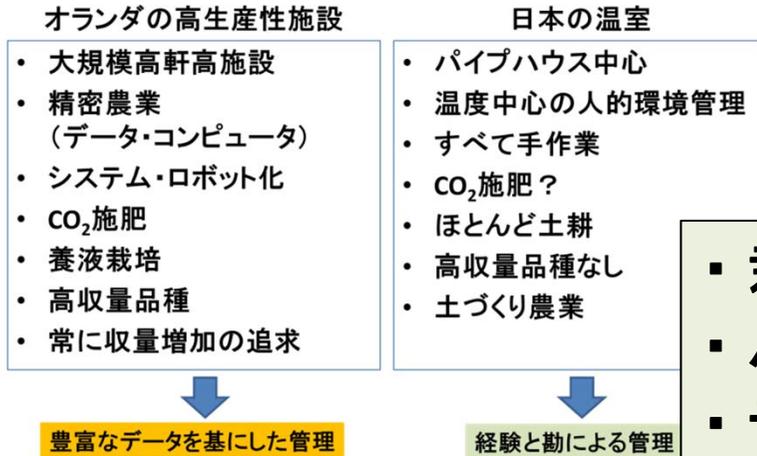
1 m³ の水で生産できるトマト 施設園芸と露地(畑)栽培の比較



Source: ICARDA-QNFSP 2010 (Courtesy: Moustafa, 2010)

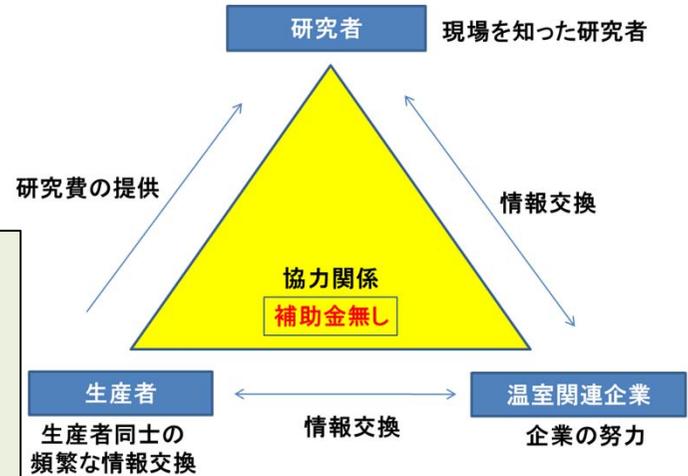
どうしてオランダの温室に日本は負けたか

日本とオランダの施設栽培の特徴



- 栽培レシピ
- パッケージ化
- データ蓄積
- 支援システム

オランダにおける収量増加の背景



日本のトマト生産技術は、1990年以前(16年以上昔)のレベル?

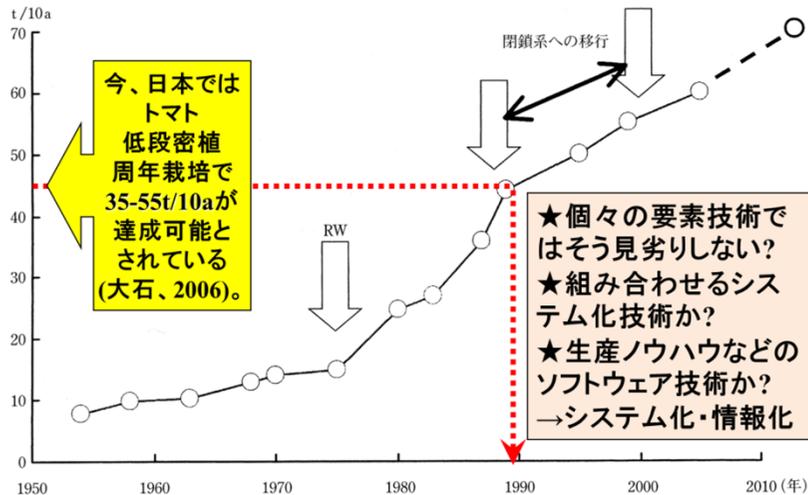
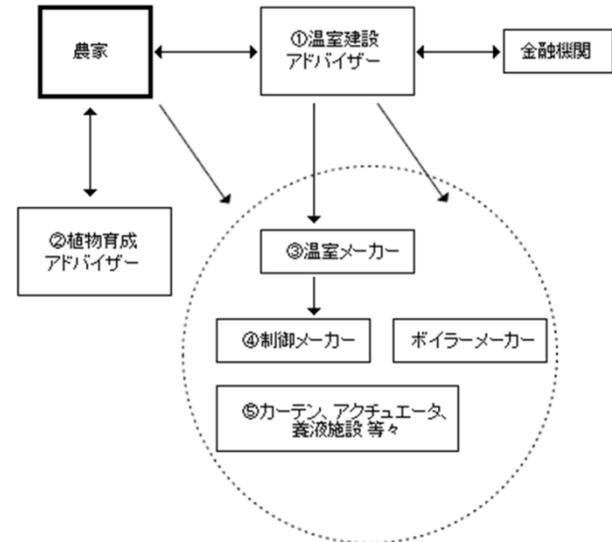


図 オランダにおけるトマトの平均収量の推移

オランダの施設園芸事情

—新規温室建設の場合—



中国・韓国事情

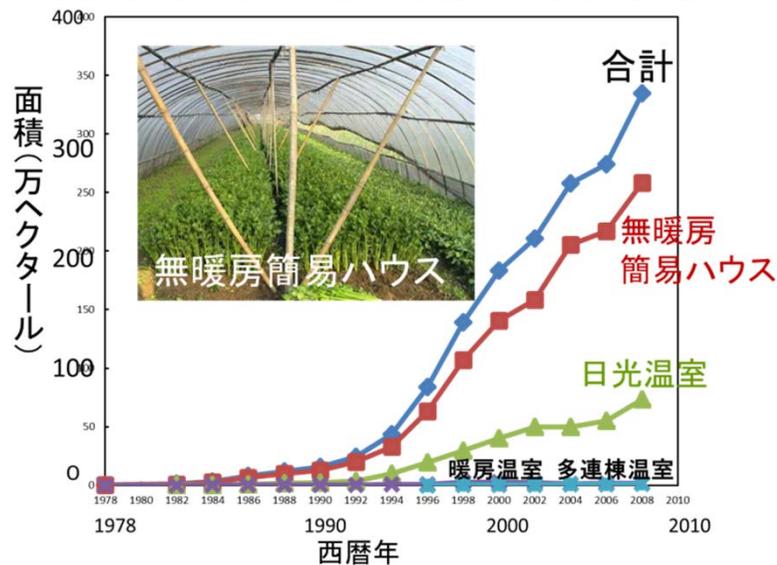
中国

北京市農業機械研究所 植物工場研究センター
 植物工場: 1,500 m² (2010年6月竣工)
 人工光、太陽光、組織培養、
 太陽光発電+蓄電、自動化



北京農業情報通信研究所なども植物工場プロジェクトを推進中

中国における園芸施設の年次推移



韓国初

大型スーパーマーケット
 内の植物工場で野菜栽培



きれいで安全な野菜を提供するために、ロッテマートが直接、栽培と販売をします

朝鮮日報 2010年7月13日朝刊

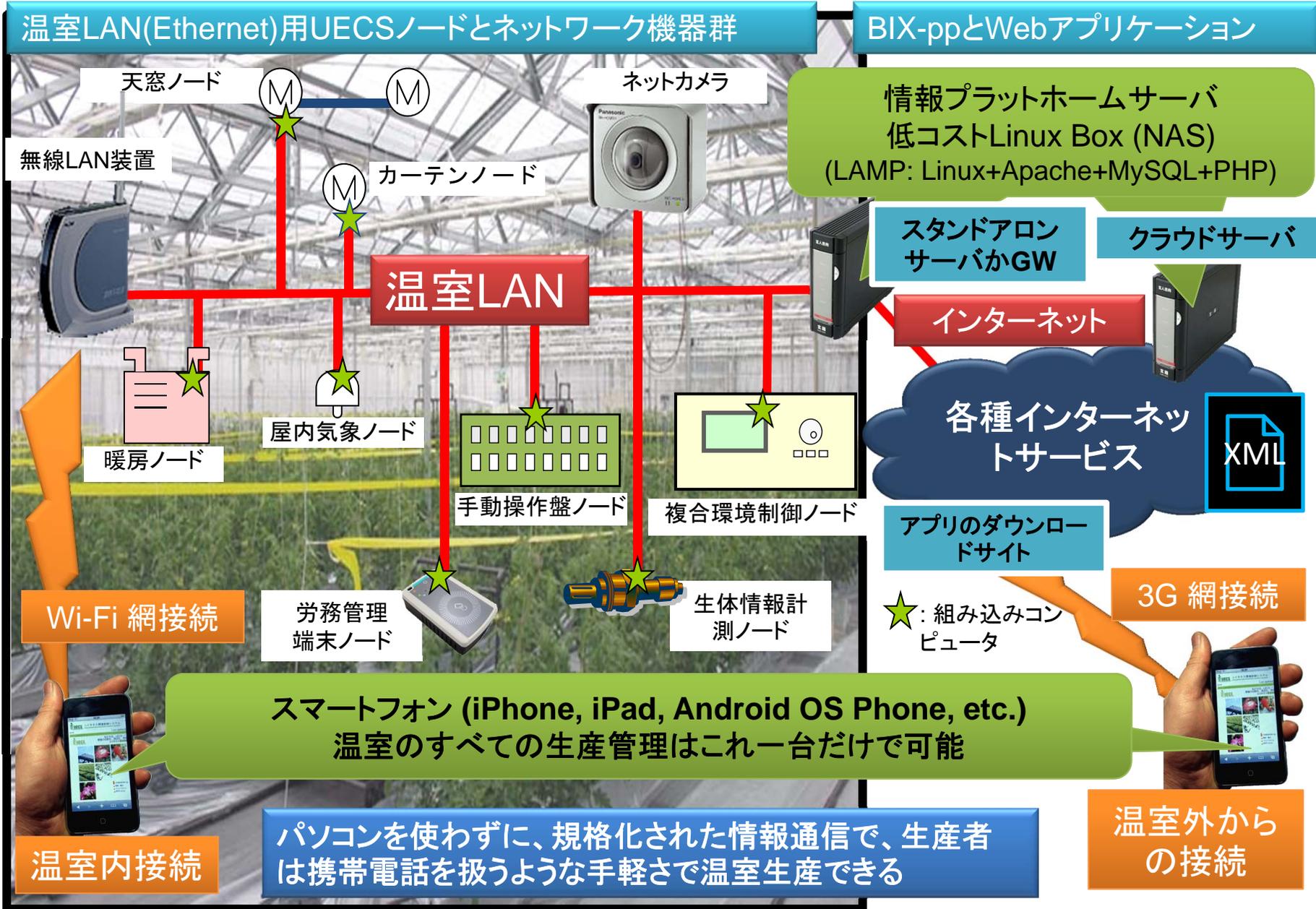
韓国 輸出園芸拠点として大規模整備予定

Hwaseong (華城市)
 私企業: Dongbu-hitek Ltd: 50 ha, Hanbitdeul Co: 100 ha,
 Nongsan Trading Co: 50 ha,

公共事業: 中央政府/地方政府による80%補助: 300 ha



Courtesy by Do-Soon Kim
 Kim, Young Shik



ワンストップ植物工場支援情報システムのコンセプト(UECSベース)

ICTは多様な要求条件の最適化に大きな可能性

- **低コストで競争力のある農産業**
 - 企業の経営: 会計, 顧客管理, 営農計画, リスク管理
 - 新しい流通・販売形態
 - 小規模農家の仮想共同経営
- **変動する環境への頑健性**
 - 最適作物・品種の提示
 - 昨期移動のシミュレーション
- **持続的で環境に優しい農業**
 - 農薬・肥料等の軽減: 病害予測・診断, 生育予測, リスク管理
 - 知識・情報の効果的・効率的伝達
- **安全で安心できる食**
 - トレーサビリティ, 履歴情報収集, GAP準拠, バイオディフェンス
 - 食に関する情報伝達
- **高品質・高機能な食**
 - 食文化・味覚
- **その他**
 - 新規就農支援
 - 農村地域の活性化や生活の快適化
 - 遠隔医療システム, 農村都市交流システム, サテライトオフィス, 新住民の誘致
 - 農業・農村ビジネスの新展開, グリーンツーリズム
 - むらおこし

ICTを活用するプロジェクト案

- 食・農・環境・教育・文化・観光を繋ぐ地域活性化モデル構築
- 多様な情報で「食・食文化の旅」ができるためのLinked Open Data整備
- 「農林水産業を科学する」東アジア標準モデルを構築
 - 農業ICTを前提とする栽培技術体系の確立(集合知、LOD?)
 - 農業ICTのための各種標準化
 - 水産業・海洋バイオマス事業・海洋管理ビジネスへの展開
 - 森林管理、森林生態系における実証実験
- 農業ICT、ICT農業が教えられる普及員育成体制の確立
- オランダ型と異なる、東アジア標準の「ICT指向植物工場システム」を構築
- 世界に展開できるワイナリーのICTモデルを構築する。
- パークサーバによる公園マネジメント(スマートパークの実現)
- グリーン・イノベーション創発拠点と成る、大学の付属施設(農場、演習林、水産実験所、練習船)、および大学間を結ぶICT整備
- 自動車を介して情報を輸送(Sensor Gateway)
- 自動車と光計測機器による畑の植物ドック(Field Doctor)
- YMC(Youth Mediated Communication)による農業ICT理解
- ICTとFake Realityを用いての農業現場での人間センサー活用