

作業情報の可視化による 農業経営指標の作成支援

因果関係ダイアグラムの自動作成と
大規模言語モデルの利用可能性

¹ 農研機構 北海道農業研究センター

² 農研機構 九州沖縄農業研究センター

佐藤 正衛¹ 馬場 研太²

- ① はじめに
- ② 実験①：因果関係ダイアグラムの自動作成
- ③ 実験②：LLM による文章データの表形式への変換
- ④ おわりに
- ⑤ 付録：R 言語 agritechviz パッケージ

概要

- 2019 年度開始，5 年間で全国のべ 217 地区で実証
- スマート農業技術を生産現場に導入 ⇒ 技術実証，技術導入による経営への効果を解明
- 技術区分「作目 × 品種 × 栽培方法 × 利用技術」ごとの結果を蓄積，利活用
- 実証プロジェクトホームページ：農林水産技術会議
https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/smart_agri_pro.htm

表 1: 実証プロジェクトにおける各コンソーシアムからの提出データ

様式種類	データの内容
様式 1	基礎経営概要
様式 2	法人経営用会計記録（決算書）
様式 3	個人経営用会計記録（青申決算書）
様式 4	技術区分データ

農業経営指標とは

- 技術区分ごとに
 - 単収, 単価, 費用, 労働時間を整理
- 指標の利用場面
 - 技術導入の効果, 作物選択の判断の参考
 - 経営モデルの構築, 経営試算, 経営診断の参考
- 指標の作成
 - 当プロジェクトでは, 提出された技術区分データを分析, 集計して作成 (松本ら, 2023)
 - 統計モデル: 水稻。利用可能データが多い。
 - 事例ベース: それ以外の作物。データが限定的。実証技術が事例ごとに特徴的。

作物名		秋まき小麦			
作型		普通畑	転換畑	大豆間作	
規模		畑作45ha	水田転作30ha		
技術の特徴					
生産額	主産物	生産量 kg	6,000	4,800	4,200
		単価 円	146.0	146.0	146.0
	副産物	生産量 kg			
		単価 円			
合計		円	876,000	700,800	613,200
変動費	肥料費	円	122,000	100,290	36,840
	種苗費	円	14,128	14,128	35,320
	農業費	円	39,688	37,918	27,499
	諸材料費	円			
	動力燃料費	円	13,262	16,318	8,976
	賃料料金	円	203,000	171,000	155,000
合計		円	392,078	339,654	263,635
貢献利益		円	483,922	361,146	349,565
貢献利益率		%	55.2	51.5	57.0
労働時間		時間	14.4	19.2	11.0
積算基礎、その他					

図 1: 農業経営指標の具体的一事例。北海道農政部 (2019, p.82) の一部を抜粋。

当プロジェクトにおける事例ベースの指標作成

- 対象：多種多様な品目，技術 (表 2)
 - 水田作の品目は水稲に集中。他類型 (畑作，露地野菜，施設園芸等) は多品目が混在。導入技術も多種多様。→ 事例ベース
- 事例ベースのアプローチ
 - 事例の提出データ (文書，試験結果の集計表等。) → 経営環境，技術の特徴を精査 → 指標作成 → 指標の妥当性を判断
 - 「技術～作業～効果の因果関係の可視化情報」が指標の作成作業，意味理解，妥当性判断に有効
- 課題
 - ① 膨大な作業量の克服 → 自動化
 - ② 文章読解の支援 → AI

表 2: 営農類型別技術区分データ数

	水田 (水稲)	畑作	露地野菜	施設園芸	花き	果樹	茶	畜産
2019	523(361)	34	105	75	3	124	5	15
2020	175(124)	152	137	107	18	88	6	31

指標作成の戦略：データ駆動型アプローチ

- ① 提出された個別事例データの活用
 - 膨大な情報の効率的・効果的な整理
- ② ロジックモデルによる整理
 - 利用データ→指標作成の枠組み
- ③ 指標作成支援プログラム開発
 - 自動化，AI 活用
- ④ 意思決定支援
 - 作成指標の妥当性の判断等
- ⑤ 評価

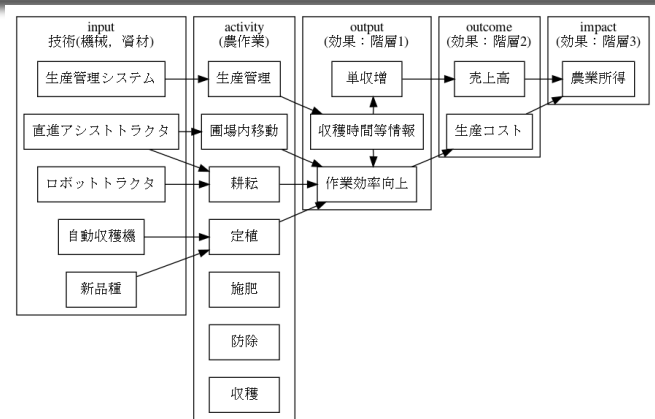
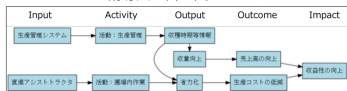


図 2: ロジックモデル (Frechtling, 2015) で表現した農業技術体系の概念図。技術体系を「利用技術→農作業→効果→経営成果→最終目的」の関係で構成。input(投入要素, 技術)～activity(作業)～output(効果)と整理することで提出データと経営指標の関係が把握可能。

経営指標作成の全体フロー

②技術導入の影響要因ダイアグラム解析

技術導入影響要因の可視化



③キー技術の抽出

④技術-効果整理表(上表)、 コンソ別導入技術の整理表(下表)

技術 取組番号	利用技術	効果 列挙時期	肥料	農薬	固定費	管理	収穫	節水準備	
1	刈りつけ取組作業								
2	自動施肥	▲					+		
3	GPSトラッカー								
4	育苗の自動化、播種監視	▲					+		
5	五徳機								
6	独立型育苗給排調整	▲	▲						
7	可変施肥		▲				+		
8	深耕作業機								
9	平耕除草							+	
10	PRON								
11	生育監視モニタリング	▲							
12	収穫・出荷予測						効率化	+	+
13	自動収穫機	▲							
14	生産管理システム	▲					効率化		+
15	経営管理システム	▲					効率化		
16	連携クラウド								▲

①提出データの内容確認、 指標化の可否判断

報告書 様式1~4



品目	区画	技術	指標	単位	取得時期	取得回数	取得期間	取得回数	取得期間	取得回数	取得期間	取得回数	取得期間	取得回数	取得期間	取得回数	取得期間
58	305	2	標準	30075	43	1244	20062	10776	10000	3	10	1	1	1	1	1	1
59	342	2	標準	30074	350	600	30367	10075	10002	2	2	1	1	1	1	1	1
60	307	2	標準	30075	300	600	30367	10075	10002	2	2	1	1	1	1	1	1
61	401	2	標準	30075	300	600	30367	10075	10002	2	2	1	1	1	1	1	1
62	523	2	標準	30075	2134	431	8	15									
63	524	2	標準	30075	2142	431	8	15									
64	601	2	標準	30075	990	200	2	2									
65	602	2	標準	30075	3732	431	8	15									
66	603	2	標準	30075	1176	430	2	2									
67	604	2	標準	30075	1138	430	2	2									
68	605	2	標準	30075	1645	200	2	2									
69	606	2	標準	30075	1476	134	3	3									
70	307	2	標準	30075	307	332	3	3									

⑥登録用データセット (標準経営指標)の完成

品目別技術区分数：
57(畜地・キャベツ)、26(施設・トマト)
→うち一部を指標化

⑤データ・プロセッシング

登録用データセット変換プログラム：
 > pre-data-processing.R
 > create_ds_data_from_excel.R

- ① はじめに
- ② 実験①：因果関係ダイアグラムの自動作成
- ③ 実験②：LLMによる文章データの表形式への変換
- ④ おわりに
- ⑤ 付録：R言語 agritechviz パッケージ

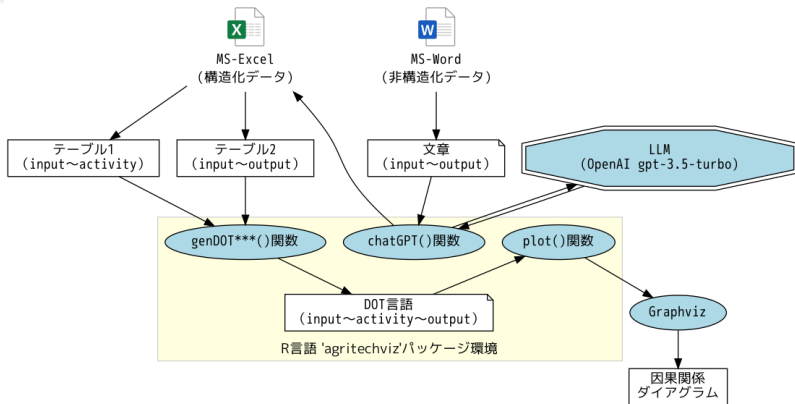


図 3: R 言語による自動可視化のしくみ (R Core Team, 2023; Gansner and North, 1999)。提出される MS-Excel には技術と農作業の関係がテーブル (構造化データ) で整理されている。MS-Word には技術とその導入効果が文章化されており、分析には Open AI gpt-3.5-turbo を使用。

結果①-1: 技術と作業の関係の可視化

	A	B	C	D	E	F	G
1	作業内容	作業機_1	作業機_2	資材_1	資材_2	資材_3	資材_4
2	増肥散布	フロントローダー		増肥			
3	土壌改良資材散布	タイムフアード		苦土石灰資材			
4	耕起	3輪ロータリー					
5	除草	除草機					
6	ハウスビニール掛け			ハウスビニール一式			
7	基礎施肥			化成肥料	有機化成肥料	加肥肥料	
8	砕土・整地	ロータリハロー					
9	成畦	畦立機					
10	かん水チューブ・液肥投入装置			液肥投入機	かん水チューブ		
11	マルチ設置	マルチャー		ポリマルチフィルム			
12	病害駆除剤散布	噴霧機		ダクトホース			
13	マルハナバチ駆除剤ネット設置			防虫ネット			
14	苗搬出・運搬	軽トラック		ミニコンテナ			
15	マルチ穴開け			マルチャー			
16	定植			自家育苗苗			
17	トンネル設置			トンネル支柱 (ニトポール)			
18	トンネル開閉、換気保温			トンネル設置資材			
19	温度管理	ハウス自動暖房機					
20	ホルモン処理			ホルモン剤			
21	マルハナバチ管理			マルハナバチ			
22	摘果						
23	整枝、誘引、摘葉			結束機	結束テープ	替え針	収穫用はさみ
24	整枝、誘引、摘葉			支柱	誘引ひも		
25	除草						
26	かん水・追肥	かん水ポンプ		液肥用肥料			
27	トンネル支柱かたづけ						
28	病害虫防除	動力噴霧機		殺菌剤	殺虫剤	農薬剤	
29	収穫・粗選別	軽トラック		ミニコンテナ	収穫用はさみ	ハウスカー	
30	出荷	軽トラック		ダンボール箱			
31	カーテンの取払						
32	残査・資材の搬出	農用トラック					

図 4: 作業別投入要素の整理表 (施設トマト)

注: 北海道農政部 (2019, p.84) から作成したテストデータ。

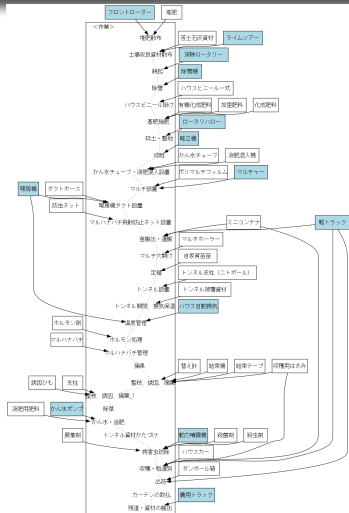


図 5: プログラムで図 4 からダイアグラムを自動作成 (施設トマト)

	A	B	C	D
1	技術	収量	品質	労働時間
2	ハウス自動換気	+	+	
3	畦立機			-

図 6: 技術別導入効果の整理表 (施設トマト)

注: 筆者が作成したテストデータである.

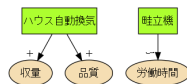


図 7: プログラムで図 6 からダイアグラムを自動作成 (施設トマト)

結果①-3: 因果関係ダイアグラムの可視化

Rパッケージ
agritechviz による
技術～作業～効果
の統合

```
## agritechviz ライブラ  
リをロードする  
library(agritechviz)
```

```
## DOT 言語へ変換  
dot_iae_tomato <-  
  genDOTInputActivityEffect(  
    dot_ia_tomato,  
    dot_ie_tomato)
```

```
## ダイアグラム作成  
plot(dot_iae_tomato)
```

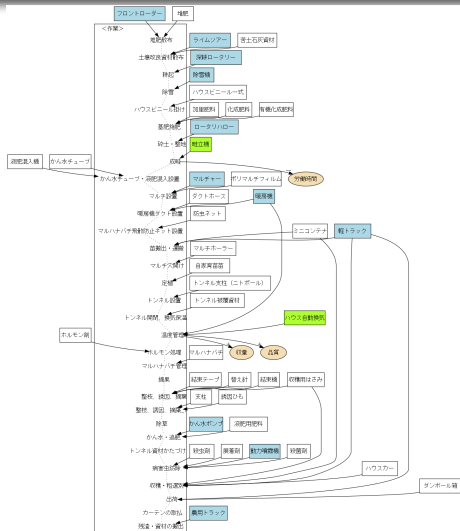
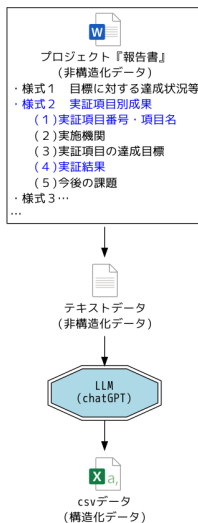


図 8: 因果関係ダイアグラム (施設トマト)

- ① はじめに
- ② 実験①：因果関係ダイアグラムの自動作成
- ③ 実験②：LLMによる文章データの表形式への変換
- ④ おわりに
- ⑤ 付録：R言語 agritechviz パッケージ

要点

- 内容：
 - 提出文書の文章から技術-効果整理表を作成
 - 非構造化データ → 構造化データ
- 方法：
 - OpenAI ChatGPT で試行
錯誤的にプロンプト開発
- 結果：
 - Zero-shot プロンプトを2段階で実行し、文章から技術-効果整理表を生成
- 自動化：
 - ChatGPT API を R 関数として実装し、agritechviz パッケージへ



===入力データ===

(1)実証項目番号・項目名：技術AAA

(4)実証結果

① 目標に対する達成状況

実証区(12a)第10作で栽培し販売した高糖度トマトの数量は、1,880kgで、前年同時期の第7作(販売数量1,088kg)に比べ70%向上した。

この結果を年間販売数量に換算すると約4.2tの増加となり、売上金額3,358千円に相当する。

この金額は2020年度の会社A全体売上金額比で1.2%に相当する。

販売単価については、糖度目標は大幅に改善したものの、小玉化による規格外品率が上昇したため、規格外品減少による販売単価上昇効果は現段階では極めて限定的。



出力目標：報告書を読解して作成

技術名	数量（販売数量）	年間販売金額	売上金額	販売単価	糖度目標	規格外品率
技術AAA	+	+	+	+（限定的）	+	+

図 9: 文章（非構造化データ）から技術-効果整理表（構造化データ）への変換

結果②：非構造化データから構造化データへの変換

プロンプト 1st ステップ：出力項目の抽出

与えられた文章からcsv形式データを出力してください。
 まず、**csv形式データのヘッダー(1行目)の作成**をお願いします。
 ヘッダーの最初は「技術名,」から始めてください。
 次に、技術(Input)とその効果(Output)の記載がある以下の入力データ(文章)から、
 技術の導入効果が見られた項目名称のみを抽出し、項目名称を同じcsv形式データのヘッダー(1行目)に、
 「技術名,」に続けて記載し、1行にまとめたcsv形式データを作成してください。
 この段階では技術の具体的な名称は抽出しないでください。
 ==入力データ(省略)==

技術名	高糖度トマトの収量	年間販売金額	売上金額	会社A全体売上金額比	販売単価上昇効果
-----	-----------	--------	------	------------	----------

プロンプト 2nd ステップ：導入効果の出力

上記文章から技術名称と、その端的な効果の情報を抽出してください。
 そして、先ほど作成した**csv形式データの2行目に、各項目に対応する技術名称と効果**を出力してください。
 その際に、効果(Output)に含まれる情報は増加か減少かのみを抽出し、それぞれ「+」「-」で示してください。
 効果の数値や説明は省略してください。
 加えて、制約条件として次の2つを遵守してください。
 効果(Output)は、「限定的」などの不明確な情報は出力せず、空欄で処理してください。
 出力はcsv形式のみで結構です。その他の文章は省略してください。

技術名	高糖度トマトの収量	年間販売金額	売上金額	会社A全体売上金額比	販売単価上昇効果
技術AAA	+	+	+	+	限定的

図 10: 2 ステップの Zero-shot プロンプトで文章をテーブルへ変換

要点

- 文章（非構造化データ）から技術-効果整理表（構造化データ）への変換を（一定程度）達成
- ポイントは **プロンプトを2ステップ** にしたこと（1st 出力項目抽出，2nd 導入効果出力）
 - 整理表作成までの処理が安定化
 - プロンプトに報告書の語句を使用せずとも一定程度の精度で変換可能
 - → 同一プロンプトを再利用できる。処理の自動化の可能性。

- ① はじめに
- ② 実験①：因果関係ダイアグラムの自動作成
- ③ 実験②：LLMによる文章データの表形式への変換
- ④ おわりに
- ⑤ 付録：R言語 agritechviz パッケージ

実験①：因果関係ダイアグラムの自動作成

- 到達点：R の 'agritechviz' パッケージ開発
 - 「技術～作業」 + 「技術～効果」 → 因果関係ダイアグラム
- 今後の課題
 - クラス，メソッド改良してユーザビリティ向上
 - Open AI ChatGPT API 使用部分の改良

実験②：LLM で文章データの表形式への変換

- 到達点：ChatGPT 用プロンプト作成
 - 2ステップ にすることで文章から，csv データを出力可能
- 今後の課題
 - 出力結果の再現可能性
 - プロンプトの改善
 - 適切な GPT モデルパラメータの探索
 - 農学領域に特化したファインチューニングで表記ゆれ，抽象表現へ対応
 - 代替 GPT モデルの検討

- Frechtling, J. A. (2015) Logic Models, in *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2nd edition, 14: Elsevier 299 – 305.
- Gansner, E. R. and S. C. North (1999) A open graph visualization system and its applications to software engineering, *Software Practice and Experience*, 00(S1): 1 – 5.
- 北海道農政部編 (2019) 北海道農業生産技術体系 第5版, 北海道農業改良普及協会.
- R Core Team (2023) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <
<https://www.R-project.org/>>.
- 松本浩一, 佐藤正衛, 馬場研太 (2023) 「スマート農業実証」の成果データを利用した農業経営指標, 農業情報学会 2023 年度年次大会講演要旨集 39 – 40.

謝辞

本報告には, スマート農業実証プロジェクト及びスマート農業産地形成実証による研究成果が含まれる。

- ① はじめに
- ② 実験①：因果関係ダイアグラムの自動作成
- ③ 実験②：LLM による文章データの表形式への変換
- ④ おわりに
- ⑤ 付録：R 言語 agritechviz パッケージ

A1. agritechviz パッケージの実行例

技術～作業～効果の因果関係ダイアグラム作成

```
#ダウンロードしたソースコードのパッケージをインストール
#Windows の RGui は「パッケージ > Install package(s) from local files」で選択
install.packages("agritechviz")
#パッケージを使う
library(agritechviz)
#サンプルデータの読み込み
file_path <- system.file("extdata", "tomato.xlsx",
                          package = "agritechviz")
data_ia_tomato <- readxl::read_xlsx(file_path,
                                   sheet = "作業体系")
data_ie_tomato <- readxl::read_xlsx(file_path,
                                   sheet = "技術効果")

#DOT 言語へ変換
dot_ia_tomato <- genDOTInputActivity(data_ia_tomato)
dot_ie_tomato <- genDOTInputEffect(data_ie_tomato)
dot_iae_tomato <- genDOTInputActivityEffect(
  dot_ia_tomato, dot_ie_tomato)

#ダイアグラム作成
plot(dot_iae_tomato)
```

- agritechviz パッケージは、右のクリップをクリックして保存。→
- プレゼン資料は https://researchmap.jp/naro_carc_sato から。