

近世日本の気候変動と中央市場

柴本 昌彦¹

高槻 泰郎²

1 神戸大学 経済経営研究所
shibamoto@rieb.kobe-u.ac.jp

2 神戸大学 経済経営研究所
ytaka@rieb.kobe-u.ac.jp

人文学オープンデータ共同利用センター(CODH)
2018年3月12日



神戸大学経済経営研究所

2019年、創立100周年を迎えます

自己紹介と問題意識

- 私の専門分野: 『計量経済学手法を用いたマクロ経済政策効果及び政策対応に関する実証研究』

金融政策の役割及び波及経路の再検討, 長期停滞期における景気循環変動メカニズムの解明, 期待形成メカニズムに関する文理融合研究, 江戸時代経済に関するマクロ時系列分析...

→ 経済理論やデータを用いた研究が専門で、経済‘史’や気候学の専門家ではない

- 歴史の背後には現代社会と通じる真実があるはずで、現代社会 (特に、経済) において重要な含意があるはずと信じています

- 経済学に基づく因果関係を用いることが、気候と社会の関係や歴史を理解する上で重要なのではないか

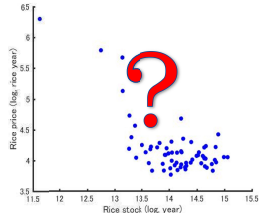
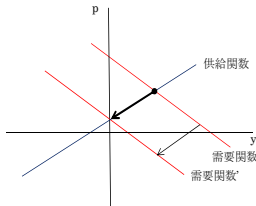
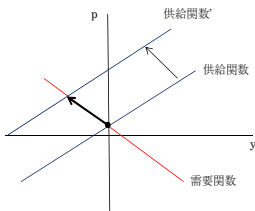
経済学者は、気候変動が経済現象に与える影響を考える場合「経済学に基づく因果関係」を念頭に置いて考える

⇒ **専門分野の垣根を超えた研究が必要不可欠!!**

- 経済学者は気候変動メカニズムを全く知らない
- 当然、現代と当時の時代背景の違いを考慮する必要がある

気候変動が経済現象に与える影響を‘経済学的に’考える

- 経済現象を‘経済学的に’分析する際、生産 (Y) と物価 (P) は重要な要素であり、**市場メカニズム**が関係性の背後に存在すると考える
 - モノが手に入らない (供給ショック) $\Rightarrow$ 生産減少 ($Y \downarrow$), 物価上昇 ($P \uparrow$)
 - モノが売れない (需要ショック) $\Rightarrow$ 生産減少 ($Y \downarrow$), 物価下落 ($P \downarrow$)



- 経済学理論に基づく、気候変動はモノの生産・物価に影響を及ぼす変動要因の‘一つ’ (供給ショック) と考えられる
 ‘冷夏’や‘洪水が頻発する’とコメの生産が減り値段が上がる、と考えられる
- 実際のデータや計量経済学手法を用いて、**影響の数量的評価を行う**
モノが手に入らない状況が起こると どのくらい生産・物価に影響するのか?

近世日本経済における市場メカニズムと社会の関係

- 特に、農業経済・閉鎖経済を特徴とする近世日本にあって、気候変動は生産と物価を左右する重要な変動要因の一つであると考えられる
 - コメ(米)は当時の必需財の一つであり、代替が困難な財
 - 足りないコメを輸入で補ったり、余ったコメを輸出できない
- ⇒ 気候変動等で コメが手に入らない状況が起こると 市場メカニズムを通じて価格の急騰を引き起こす... と経済学的には考えられる
価格が変化しても需要量の変化は小さい(需要の価格弾力性が小さい)ため
- ⇒ 市場メカニズムを通じて引き起こされた米価(及び諸物価)の高騰は、人々の生死に直結し社会不安をもたらす
天明/天保の飢饉時において、餓死・一揆・打毀が多発したと指摘されている
- ★ **米市場の安定が経済安定のための重要な政策目標だったと言える**
もし市場メカニズムの影響が大きかったならば、それを放置することで社会の崩壊に繋がることもありうる

経済学を用いて気候データから近世日本史を再検討する

- 市場メカニズムを通じた影響が**どの程度**重要だったか評価するには、数量的な分析が必要不可欠
 - コメが手に入らない状況が起こると 市場メカニズムを通じて**どのくらい**米価に影響を及ぼすのか
 - 仮に市場メカニズムを通じた影響が限定的だったならば、米市場安定政策は当時の経済にとって重要でもなんでもなかったかもしれない
 - Tractable なデータの欠如により、これまで数量的な分析対象とされず
 - ‘経済学を用いて’ 気候変動から歴史を再検討する
 - 「コメが手に入らない状況が起こると 市場メカニズムを通じて**どのくらい**米価に影響を及ぼすのか」を**気候データから**明らかにすることで、米市場安定が近世日本社会にとって重要だったかどうかを検討する
- ⇒ 気候データ、米切手発行量・米価データが市場メカニズムの重要性を明らかにするための突破口になる!!

古気候学に基づく気候データ

- 本報告で利用する気温データ (年次)
 - 北日本 (北海道/樺太/国後) 夏季平均気温 (D'Arrigo et al.(2015))
 - 東アジア夏季平均気温 (Cook et al.(2013))
 - 富山県伏木の観測データ (信州大学の安江恒氏より提供)
 - 広島藩の夏季 (7月/8月) 気温データ (平野淳平氏より提供)
古日記 (「村上家乗」) を元にした気温復元 (晴天率からの復元)
- 本報告で利用する降水量データ (年次)
 - 中部日本の酸素同位体比データ (中塚武氏より提供)

気温データの特性

● 気温データの主成分分析

$$temp_{it} = \mu_i + \lambda_i PC_t + e_{it}$$

$temp_{it}$: 北日本/東アジア/富山/広島 7 月/広島 8 月の気温, PC_t : (第 1) 主成分, e_{it} : 地域特有要因

EM algorithm を使って欠損値補完を行い主成分を推定

● 主成分が北日本/広島/富山の気温を (7~5 割程度) 説明

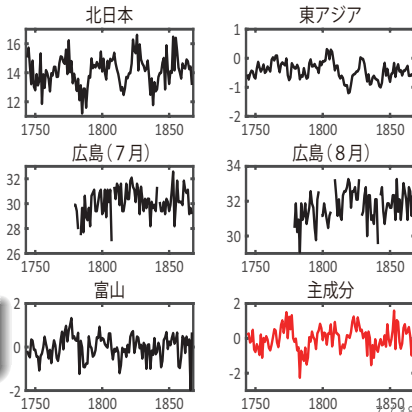
	原データ		λPC		e
	AR	R^2	AR	AR	AR
北日本	0.41	0.66	0.42	0.15	
東アジア	0.75	0.09	0.42	0.75	
広島 7 月	0.21	0.54	0.42	0.01	
広島 8 月	0.23	0.43	0.42	0.20	
富山	0.30	0.49	0.42	0.23	

北日本/広島/富山の気温の持続的な時系列変動を主成分 (PC) で捉えている

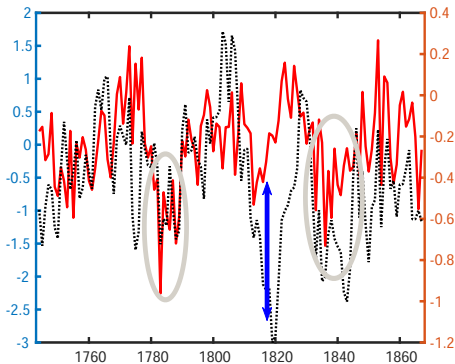
地域特有要因の持続性は低い

気温データの相関 東アジアの連動性は低い

	北日本	東アジア	広島 7 月	広島 8 月
東アジア	0.34	-	-	-
広島 7 月	0.41	-0.00	-	-
広島 8 月	0.33	-0.24	0.19	-
富山	0.35	0.20	0.19	0.29



気温の推移 (赤線: 主成分, 黒点線: 東アジア夏季気温)



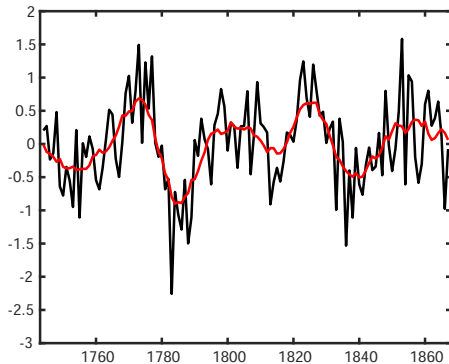
- 1780 年代/1830 年代: 気温データ/文献史学の知見と整合的 (冷夏, 天明の飢饉/天保の飢饉)
- 1810 年 ~20 年代について、大坂米価や文献史学の知見が伝える当該期の状況は「温暖」「平穏」「米価安」(高槻 [2012])

⇒ 東アジアの夏季気温データは整合的ではない。主成分と整合的

多方面から気候変動を検討する必要がある (気温データの文献史学との整合性)

気温データの地域特有要因を無視できない

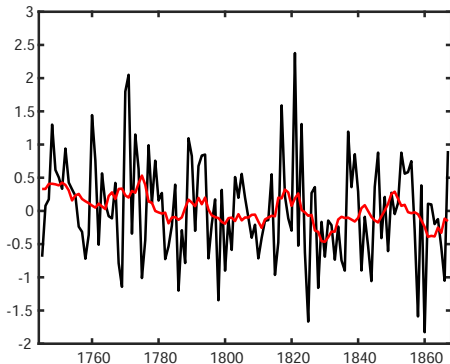
気温 (主成分) の推移 (赤線: 11 年移動平均)



気温は持続的な動きをしており、長期的な周期 (10 年くらい?) で確率的に振幅しているように見える

何らかの気候に均衡関係のようなものがあり、それが長期的に確率的に変化しているといふことか

酸素同位体比の推移 (赤線: 11 年移動平均)



- 1820 年前後の高水準 (特に 1817 年/21 年/23 年)
- 夏季気温は温暖だったとしても、年毎の降水量の変動幅が大きい
- 持続性は極めて低い ($AR = 0.03$)

降水量に関しては、周期的な振幅が小さく、年毎の変化が大きい

洪水が '急に' 頻発していた年があったりしていた可能性を示唆

米切手市場と米価データ

- 本報告で利用する市場データ
 - 日次大坂米価 (1787 年–1867 年): 三井家編纂室 [2016]
 - 月次大坂米価 (18 世紀中期–): 三井文庫 [1989]
- 米「切手」の特性
 - 持参人一覧払いで米 10 石との兌換を約束した証券である
最初に米を落札した本人でなくとも蔵米を引き出せる
 - 米切手発行量と蔵米在庫量は必ずしも一致しない
この乖離分 (米切手発行量 > 蔵米在庫量) が創造された信用
 - 正確な蔵米在庫量は市場に対して公開されない
ただし、米切手発行残高は、毎月、公表される (有米高・後述)
 - 米切手の財産権は幕府によって保障されている
米切手と蔵米との兌換、米切手の譲渡契約、ともに法的に保護されている
- 旧暦を新暦に変換する必要がある場合には、野島 [1987] を参照

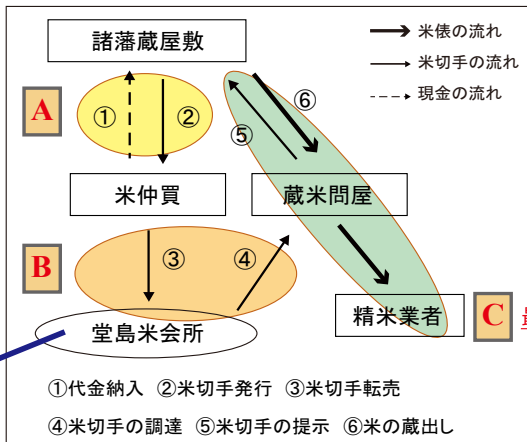
大坂米価 = 米「切手」価格

コメの価格とは若干異なる

米切手発行市場

米切手取引市場

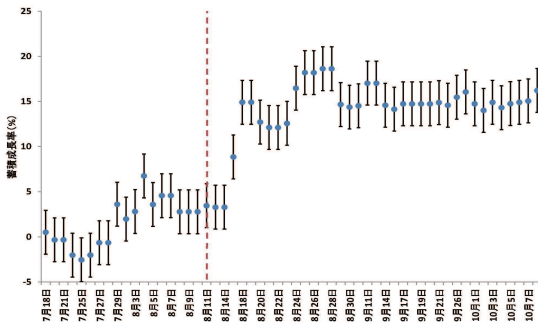
ここで形成される
米切手価格が
いわゆる「大坂米価」



大坂米価の特性

- (i) 米市場が大坂を中心に統合されている、(ii) その大坂米市場が '情報効率的' である (高槻 [2012]、牧原・高槻・柴本 [2017])

⇒ 市場にニュースが入ると、米価が即座に変化する



注: 日次データ, 1828 年 7 月 18 日から 1828 年 10 月 10 日まで

『シーボルト台風が日本に上陸』というニュースで即座に米価が上昇

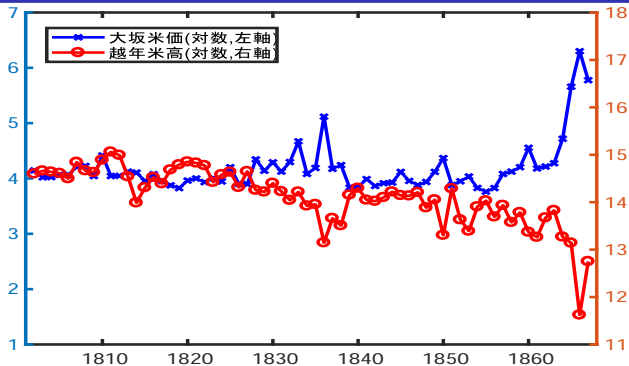
ニュースが市場に流布した時点で、実際のコメの収穫量が減ったわけではない

‘米切手発行残高’としての越年米高

- 有米高の定義
 - 有米高 = 発行済み米切手高 - 出米高 (米切手回収高)
 - 注意すべきは発行済み米切手高は**実際に蔵にある米高よりも多い点**
 - 有米高とは、文字通りの在庫米高ではなく、米切手発行残高を指す
- 越年米高の定義
 - 毎年 12 月末時点における市場全体の有米高 (= 米切手発行残高)
- 有米高 (越年米高) の意義
 - 正確な米在庫高ではないが、その代理指標としては有益

越年米高 = 米切手発行残高

大坂米価と越年米高の時間推移



注: 年次データ、1802 年から 1867 年まで。株式会社大阪堂島米穀取引所編『大阪堂島米商沿革 附諸統計表』同所発行、1903 年、株式会社大阪堂島米穀取引所編『株式会社大阪堂島米商沿革』同所発行、1912 年、「万相場日記」(国文学研究資料館所蔵「近江国蒲生郡鏡村玉尾家文書」所収) の 3 点に基づいて越年米高の時系列データを作成。5 月から翌年 4 月までの月次大坂米価系列に基づいて大坂米価の時系列データを作成。

越年米高 v.s. 大坂米価 ⇒ 負の相関関係があるように見える

供給変動要因による中央市場への影響

- 米切手需要関数 (市場メカニズムを通じた影響) の推定

$$\log(P_t) = \alpha + \beta \log(Y_t) + \epsilon_t$$

P_t : 米価, Y_t : 越年米高, ϵ_t : その他の需要要因 (誤差)

- OLS は '限定的な' 負の関係 (点線)

越年米高が 1% 減ると約 0.5% 米価上昇

- 気候変動 (気温/降水量) を操作変数として用いた GMM は影響が大きい (実線)

越年米高が 1% 減ると約 1% 米価上昇

cf. 1836 年 (天保の飢饉): 越年米高 80% 減, 米価 93% 増

⇒ 市場メカニズムを通じた影響は大きかった!

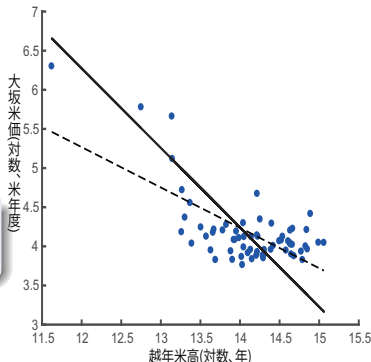
米価と越年米高だけで分析 (OLS) すると、気候変動のような供給要因による影響を過小評価

米切手価格・発行高は '需要側の' 変動要因 (ϵ_t) の影響も受けるため (需要が低い時、米価が低く米切手が発行されない)

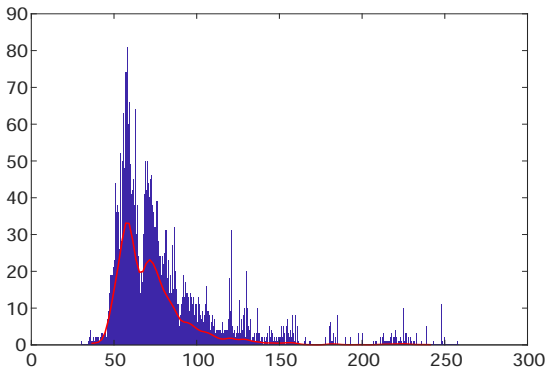
	OLS	R^2	GMM	J
$\hat{\beta}$	-0.52 (0.18)	0.47	-1.02 (0.28)	5.72 [0.46]
Hausman 統計量	5.71 [0.02]			

注: 丸括弧内の値は Newey-West

HACSE. 角括弧内の値は p 値.



大坂米価(日次)のヒストグラム



注: 立物米(匁)、日次データ、1787年1月4日から1858年12月22日まで

- 高騰フェーズと平穏フェーズがある (分布が正(右)に歪んでいる)
- ⇒ 市場メカニズムによって、飢饉時の米価高騰と平時の安定が共存

気候変動から考える江戸時代の中央市場:経済学的視点

気候変動を用いて歴史の背後にあるメカニズムを経済学的に考える

- 近世日本に生きた人々にとって天明・天保の飢饉等が大惨事だったことが知られているが、**なぜそうってしまったのか**
- 代替が困難な財である コメが手に入らない状況に陥ると 市場メカニズムを通じて米価の急騰が起こってしまう。そして、米価の高騰は諸物価にも波及し、一般市民の生活に大きな被害 (餓死・一揆・打毀等) を引き起こす... と**経済学的には考えられる ⇒ 実際のデータが支持しているのか?**
- 「モノが手に入らない状況が起こると 市場メカニズムを通じて米価の急騰が起こっていた」ことが**気候データを用いることで数量的に明らかにされた!**
越年米高と米価のみでは、市場メカニズムを通じた経済への影響に関する数量的評価を誤る可能性がある
- 当時の政策当局 (幕府) にとって、米市場の安定が経済全体の安定のための重要な政策目標だったことを計量経済学的に示唆

専門分野の垣根を超えた共同研究の可能性

- 古気候学/文献史学の知見が経済学研究へ果たす役割は極めて大きい
古気候学や文献史学の知見によって、江戸時代の米市場の重要性を数量経済学的に明らかにすることができた
- 自身の専門知識の限界を知り、他分野研究者の専門分野への理解が欠かせない
 - ある現象の真理を明らかにする際に、自身の専門知識だけでは困難なのは一体「何か」を理解する必要がある
 - もちろん他分野の専門家の知見や作法を完全に把握することは困難だが、問題意識を共有し、お互いの専門分野の限界を補完し合うことで初めて明らかとなる真理もある

⇒ **ブレイクスルーを果たすような共同研究を行うためには、自身とは異なる専門分野を尊重し、問題意識を共有できるような関係性を共同研究者と構築することが欠かせない**

神戸大学経済経営研究所でも、文理融合研究・計量社会科学(理工系 + 経済学)を進めています

<http://www.rieb.kobe-u.ac.jp/ccss/index-j.html>

参考文献

- 岩橋勝『近世日本物価史の研究』大原新生社、1981 年。
- 大野瑞男『江戸幕府財政史論』吉川弘文館、1996 年。
- 大島真理夫編著『土地希少化と勤勉革命の比較史—経済史上の近世—』ミネルヴァ書房、2009 年 12 月。
- 菊池勇夫『飢饉から読む近世社会』校倉書房、2003 年 10 月。
- 木村礎・藤野保・村上直編『藩史大事典』（全 8 冊）雄山閣出版、1988-1990 年。
- 財団法人三井文庫編『近世後期における主要物価の動態〔増補改訂〕』東京大学出版会、1989 年。
- 末中哲夫『山片蟠桃の研究「夢之代」篇』清文堂出版、1971 年。
- 高槻泰郎『近世米市場の形成と展開—幕府司法と堂島米会所の発展—』名古屋大学出版会、2012 年。
- 武井弘一『江戸日本の転換点—水田の激増は何をもたらしたか—』NHK 出版、2015 年。
- 中塚武「気候変動と歴史学」平川南編『環境の日本史 1 日本史と環境—人と自然—』吉川弘文館、2012 年、38-70 頁。
- 中塚武「高分解能気候データを用いた新しい歴史学研究の可能性」『日本史研究』第 646 号、2016 年 6 月、3-18 頁。

- 中塚武「高分解能古気候データから始まる新しい災害史研究の方向性」『国立歴史民俗博物館研究報告』第 203 集、2016 年 12 月、9-26 頁。
- 野島寿三郎編『日本暦西暦月日対照表』日外アソシエーツ株式会社、1987 年。原田敏丸・宮本又郎編著『シンポジウム 歴史のなかの物価—前工業化社会の物価と経済発展—』同文館出版、1985 年。
- 速水融・宮本又郎「概説 一七—一八世紀」速水融・宮本又郎編『日本経済史 1 経済社会の成立 17-18 世紀』岩波書店、1988 年 11 月、1-84 頁。
- 平野哲也「江戸時代後期下野国における旱害と水利秩序—明和七年・八年と文政四年の大旱魃の事例から—」『栃木県立文書館研究紀要』、第 20 号、2016 年 3 月、31-57 頁。
- 牧原成征・高槻泰郎・柴本昌彦「農業金融の矛盾と公債市場の安定」『岩波講座 日本経済の歴史 第 2 巻 近世 16 世紀から 19 世紀前半』岩波書店、2017 年 8 月、105-147 頁。
- 三井家編纂室編『自天明七年至明治四年大阪金銀米銭并為替日々相場表』同室発行、1916 年。
- 宮本又郎『近世日本の市場経済—大坂米市場分析—』有斐閣、1988 年。
- 宮本又郎「物価とマクロ経済の変動」新保博・斎藤修編『日本経済史 2 近代成長の胎動』岩波書店、1989 年、67-126 頁。

(参考) 大坂米市場が情報効率的かどうか

- 大坂米市場が情報効率的 $\Rightarrow$ 米価がランダムウォーク
- 米価がランダムウォークかどうかの検定統計量

$$VR(L+1) \equiv \frac{Var(\sum_{l=0}^L \pi_{t-l})}{(L+1)Var(\pi_t)} = 1 + 2 \sum_{l=1}^L w(l)\rho(l)$$

$\pi_t = p_t - p_{t-1}$ 、 $\rho(l)$: π_t の自己相関係数、 $w(l) = 1 - \frac{l}{L+1}$

- p_t がランダムウォークに従うならば、 $VR(L+1)$ が 1 に近い

	1 か月		6 か月		12 か月	
	$\hat{\rho}$	VR	Qstat	VR	Qstat	VR
肥後米	0.01[0.76]	1.01	6.83[0.45]	0.97	17.55[0.18]	0.84
中国米	-0.01[0.87]	0.99	3.97[0.78]	0.95	13.30[0.42]	0.84
広島米	-0.02[0.55]	0.98	5.38[0.61]	0.93	15.39[0.28]	0.81
種油	-0.19[0.00]	0.81	33.50[0.00]	0.39	78.70[0.00]	0.32
岡大豆	-0.15[0.00]	0.85	24.64[0.00]	0.55	39.86[0.00]	0.44
太白砂糖	-0.34[0.00]	0.66	84.73[0.00]	0.33	92.24[0.00]	0.30

注: 月次データ, 1802 年 4 月から 1853 年 12 月まで

(参考) なぜ供給要因による影響が過小評価されたのか

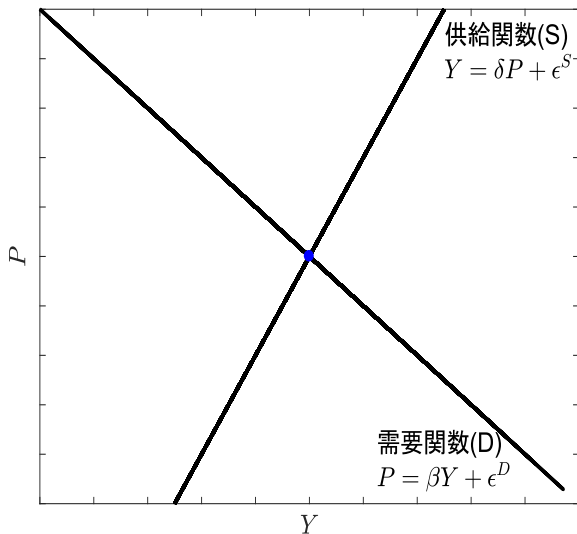
● 内生性バイアス

- 需要関数: $P_t = \beta Y_t + \epsilon_t^D$: ϵ_t^D : 需要ショック (その他の需要要因)
- 供給関数: $Y_t = \delta P_t + \epsilon_t^S$: ϵ_t^S : 供給ショック (その他の供給要因)
- 需要ショック ϵ_t^D と供給ショック ϵ_t^S は独立
- 回帰モデル: $P_t = bY_t + e_t$

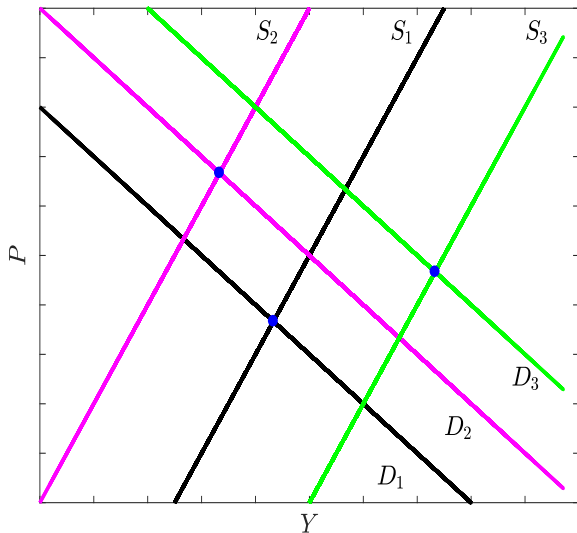
$$\bullet \text{ OLS 推定量 } \hat{b}^{OLS} = \frac{\sum_{t=1}^T Y_t P_t}{\sum_{t=1}^T Y_t^2} = \beta + \frac{\sum_{t=1}^T Y_t \epsilon_t^D}{\sum_{t=1}^T Y_t^2}$$

$$\Rightarrow E(\hat{b}^{OLS} | Y) = \beta + \text{cov}(Y_t, \epsilon_t^D) / \text{var}(Y_t)$$

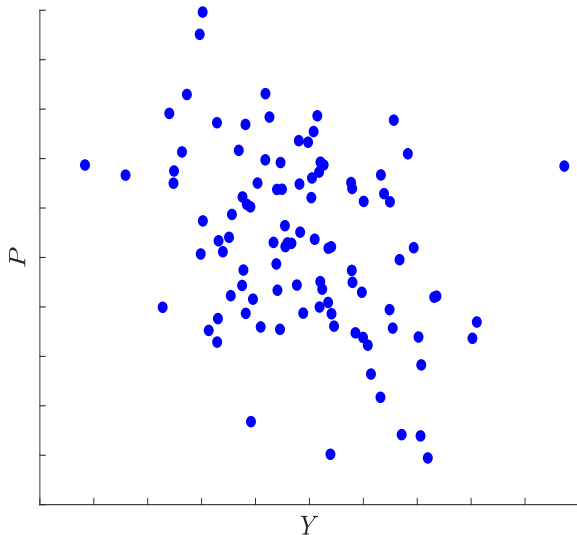
- $\text{var}(Y_t) > 0$ 。需要関数より ϵ_t^D によって P_t が上昇し、供給関数を通じて Y_t を $\delta \epsilon_t^D$ 分上昇させるので、 $\text{cov}(Y_t, \epsilon_t^D) > 0$
- $\delta \neq 0$ の時、内生性バイアス $E(\hat{b}^{OLS} | Y) = (\beta + \delta \sigma_{\epsilon^D}^2 / (1 - \delta \beta)) > \beta$ が発生。 $\delta = 0$ の時、バイアスは発生しない
- 気候要因 Z_t は供給ショックと相関する (冷夏や洪水が起こるとコメが取れなくなる) が、需要ショック (冷夏や洪水が起こるとコメを食べたくなくなる、わけではない) とは相関しない
- Y_t を気候要因 Z_t で条件付きにした $\hat{Y}_t^{\text{weather}} = \frac{\sum_{t=1}^T Z_t Y_t}{\sum_{t=1}^T Z_t^2} Z_t$ で置き換えた回帰モデルを推定すると、 $E(\hat{b}^{IV} | Y, Z) = \beta$ となる



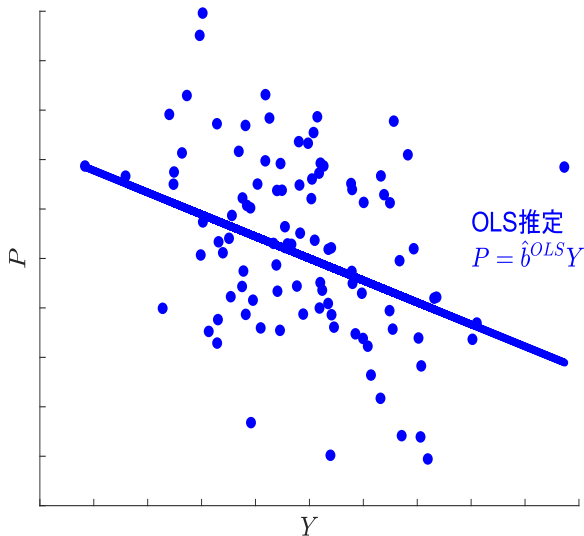
価格と数量は需要関数と供給関数の交点で決定される、経済学的に考える
もちろん、実際には需要関数と供給関数の形状は‘まだ’分からない



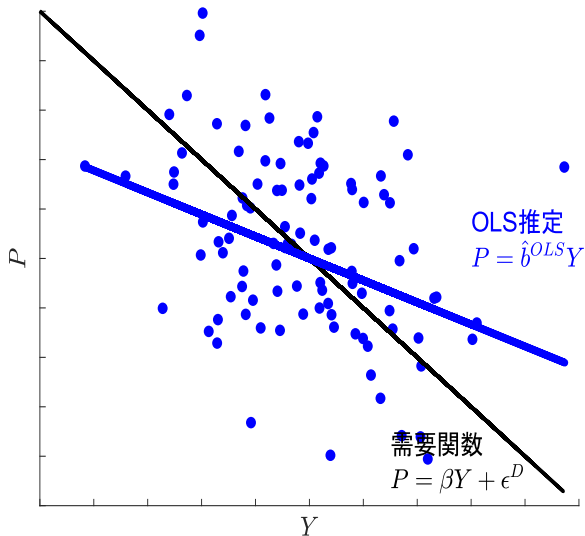
時点 1 の価格と数量は需要関数 D_1 と供給関数 S_1 の交点、時点 2 は D_2 と S_2 の交点、時点 3 は D_3 と S_3 の交点、と考えていくと...



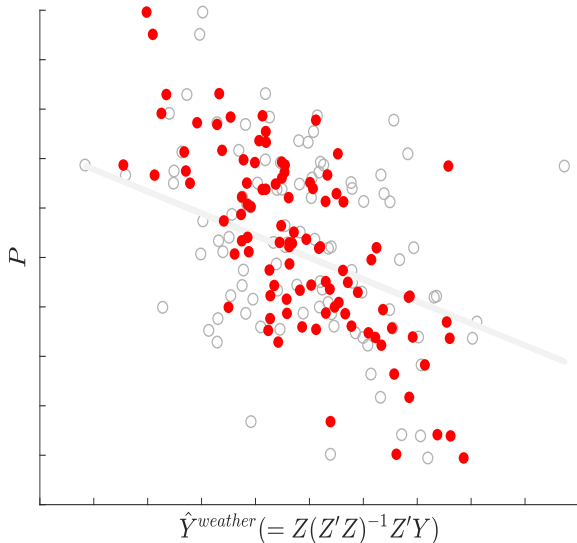
異なる時点の価格と数量を散布図として表すことができる
価格と数量の実際のデータさえ手に入れば、簡単に作成できる



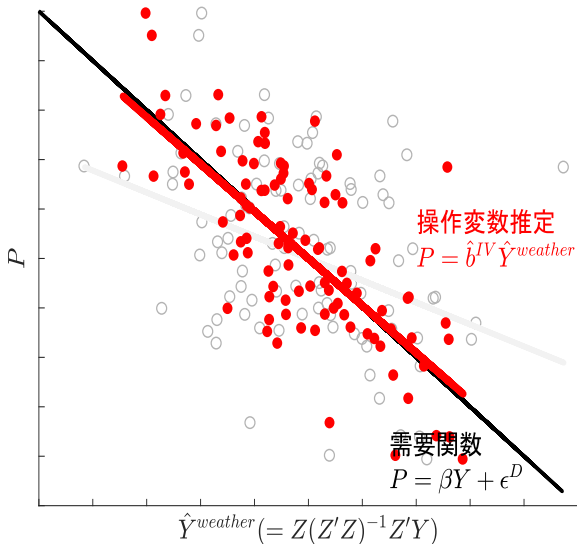
回帰モデル $P_t = bY_t + e_t$ の OLS 推定量 $\hat{b}^{OLS} = \frac{\sum_{t=1}^T Y_t P_t}{\sum_{t=1}^T Y_t^2}$ を得ると...



バイアス $E(\hat{b}^{OLS}|Y) > \beta$ が生じる $\Rightarrow$ 需要関数の形状を誤って推定することで、供給要因による経済への影響を過小評価することになる



Y_t を供給ショックの一部 Z_t で条件付きにした $\hat{Y}_t^Z = \frac{\sum_{t=1}^T Z_t Y_t}{\sum_{t=1}^T Z_t^2} Z_t$ で置き換えた回帰モデルを推定すると、



$E(\hat{b}^{IV} | Y, Z) = \beta$ となる $\Rightarrow$ 需要関数の正しい形状が分かることで、供給要因による市場メカニズムを通じた経済への影響を正当に評価できる

(補足) 米切手市場と需要 (金融) 要因との関係

- 仮に米価に依存せずに米の供給が行われていたのならば、供給変動要因による市場経済への影響の過小評価は起こらない

越年米高は供給要因からのみ影響を受ける。その時、OLS 推定量 $\hat{\beta}^{OLS}$ は β の不偏推定量

- 農民が米価に応じてコメの年貢高を変えていた、とは考えにくい
- 藩は米価に応じて米切手発行量を変えていた、と考えられる
米価が高い場合、多くの米切手を発行することによって、より資金調達が可能
- 商人は米価に応じてコメ販売量を変えていた、とも考えられる
需要が高まっている時に、米価を上げることで、より儲けることが可能
- OLS 推定量 $\hat{\beta}^{OLS}$ にバイアスが存在してることは、**米価と越年米高が需要 (金融) 要因の影響を受けていたことの表れ**

気温と降水量の変動要因の分解と市場反応

江戸時代の気候データの特筆すべき時系列特性

- 気温: 持続的、かつ長期的な周期 (10 年くらい?) で振幅
- 降水量: 持続性が低く、年毎の変動幅が大きい



気温と降水量の動学モデルの構築ベクトル自己回帰 (VAR) モデル

- 直接観測できない「中長期的な気候変動」と「突発的な気候変動」で気温データと降水量データの時系列推移を同時に説明するモデルを構築し、2 つの変動要因を識別
- 「中長期的な気候変動」で確率的かつ周期的に起こる高温期/低温期を捉える
- 「突発的な気候変動」で異常気象 (大雨による洪水/旱魃) のような気候変化を捉える



気候変動 (の違い) が市場経済に与える影響を分析

「中長期的な気候変動」と「突発的な気候変動」が米価/越年米高に与える影響を推定

気温と降水量の動学モデル: 時系列アプローチ

気候変動要因の分解

- 誘導型 VAR モデル $A(L) \begin{pmatrix} \Delta temp_t \\ \Delta rain_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \epsilon_t^{temp} \\ \epsilon_t^{rain} \end{pmatrix}$ を推定。

なお、 $A(L) = I - A_1L - A_2L^2 - \dots - A_pL^p$, $\epsilon_t = \begin{pmatrix} \epsilon_t^{temp} \\ \epsilon_t^{rain} \end{pmatrix}$, $E(\epsilon_t \epsilon_t') = \Omega_\epsilon$

- 構造ショック (ξ_t^{Perm} : 中長期的変動要因, ξ_t^{Extr} : 突発的変動要因) と予測誤差との関係は

$$\epsilon_t = R\xi_t = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_t^{Perm} \\ \xi_t^{Extr} \end{pmatrix}, E(\xi_t \xi_t') = I \text{ by assumption}$$

- $\begin{pmatrix} \Delta temp_t \\ \Delta rain_t \end{pmatrix} = A(L)^{-1} R\xi_t = D(L)\xi_t (= D_0\xi_t + D_1\xi_{t-1} + D_2\xi_{t-2} + \dots)$ なので、 ξ_t が $temp_t, rain_t$ に与える恒久的な影響は、 $D_0 + D_1 + D_2 + \dots = D(1)$

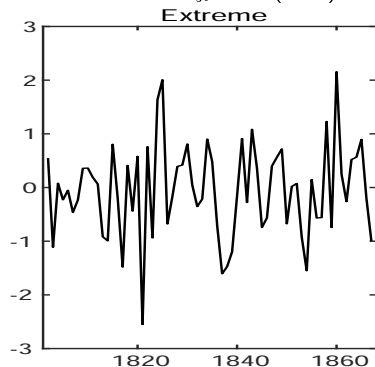
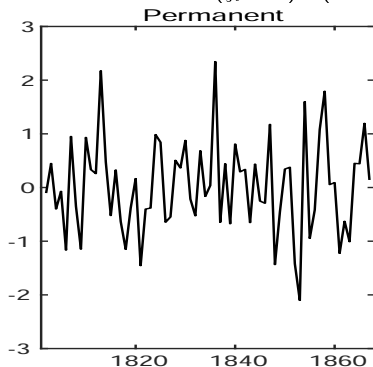
- ξ_t^{Extr} は長期的には気温 ($temp$) には影響を及ぼさないという制約の下 $D_{12}(1) = 0$ なので、

$$D(1)D(1)' = A(1)^{-1}RR'A(1)^{-1'} = A(1)^{-1}\Omega_\epsilon A(1)^{-1'}$$

にコレスキー分解を適用すれば $\hat{D}(1)$ を識別できる。同時に $\hat{R}$ も識別できるので、 $\hat{\xi}_t$ を導出することができる。

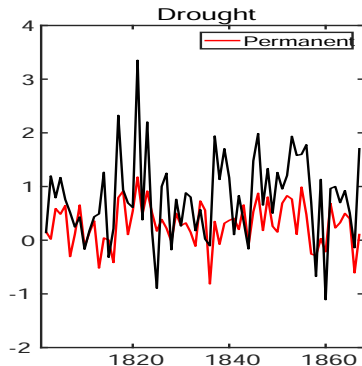
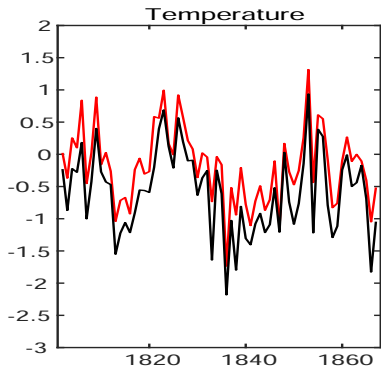
時系列モデルで識別された気候変動要因

「中長期的な変動要因 (ξ_t^{Perm})」(左図) と 「突発的な変動要因 ξ_t^{Extr} 」(右図) の推移



- 分散は 1(仮定より)
- 変動要因は互いに独立
- 変動要因自体の自己相関は極めて小さい

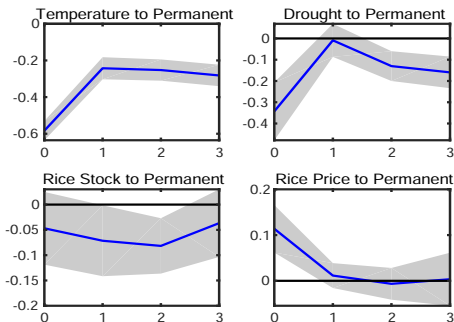
「数年にわたって気温が高い」ことはあっても、「数年にわたって中長期的要因自体が高い」といったことは「ほとんど」ない



- 気温の時系列推移の大半を「中長期的な変動要因」で説明
- 確率的に起こる周期的な気温の振幅を「中長期的な変動要因」で捉えている
- 降水量の時系列推移の一部は「中長期的な変動要因」で説明できるものの、乖離は大きい（「突発的な変動要因」で説明される）

時系列モデルが気候データの特徴的な時系列特性をある程度捉えている

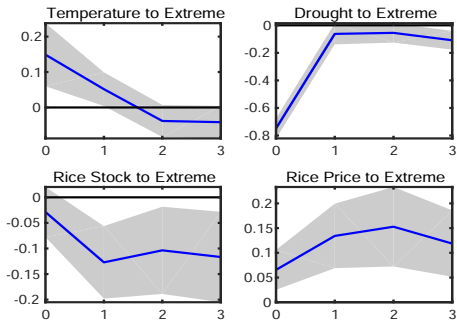
中長期的な変動要因が気候・市場経済に与える影響



中長期的な変動要因の変化が気候, 越年米高, 米価に与える動学的な影響(0年から3年後まで)

- 持続的に気温が低下し、降水量が増える
- 越年米高が減少する(5~10%程度)
- 大坂米価が即座に上昇する(10%程度)が、後に元の水準に戻る

突発的な変動要因が気候・市場経済に与える影響



突発的な変動要因の変化が気候, 越年米高, 米価に与える動学的な影響 (0年から3年後まで)

- 一時的に気温が上昇 (影響は小さい) し、一時的に降水量が増える
- 越年米高が持続的に減少する (10~13%程度)
- 大坂米価が即座に上昇し、その後も持続的に高水準を維持 (10~15%程度)

(議論) 気候変動要因の違いと市場経済の反応

中長期的な気候変動に対して、政策対応が行われていた可能性を示唆

- 中長期的な気候変動要因の変化に対して、米切手市場は影響を受けるものの、米価への影響は一時的
- ⇒ 例えば政策当局(幕府)による飢饉救済策が取られたことで、中長期的な気候変動による市場経済への影響を和らげたかもしれない

突発的な気候変動に対して、市場経済は脆弱だった可能性を示唆

- 突発的な気候変動要因の変化に対して、米価や越年米高への影響は大きく、かつ持続的
- ⇒ 近世日本の経済システム自体は気候変動に対して脆弱であり、気候リスクを自動的に軽減できる機能は備わっていなかった。そのため、異常気象が起これば市場経済に甚大な影響をもたらしたかもしれない