〈資料〉

時系列分析を題材とした プログラミング教育に関する試論

伊　藤　伸　一

キーワード
プログラミング教育
時系列分析
Excel
プログラミング言語 R
ランダムウォーク

目　次

1　はじめに
2　Excel を用いた方法
3　R を用いた方法
4　ランダムウォークに関する考察
5　まとめと今後の課題

1　はじめに

近年のコンピュータの高速化，記憶装置の大容量化，インターネットの大容量化に伴うクラウドなどの発展などにより，大規模データを扱うための情報処理能力の向上が求められている。2021 年 2 月に文部科学省と経済産業省は，「数理・データサイエンス・AI 教育認定制度実施要項」を発表した[1]。この教育プログラムは，学生の数理・データサイエンス・AI への関心を高め，かつ，それを適切に理解し活用する基礎的な能力を育成し，関連する知識及び技術について体系的な教育を行うプログラムであるとしている。これは，学部の専門に関わらず全ての学生を対象としている「リテラシーレベル」であるとしている。学生が数理・データサイエンス・AI に興味を持つための授業の取り組みが求められている。龍谷大学経営学部では情報学関係の科目が多く開講されている。経営学部の学生は，経営学の専門的な講義を受講しているので，経営学関連のデータについて興味を持つための基礎的な学力を養っている。データ分析は，各種方法論が存在するが理論を学ぶだけでなく，実際に自ら実習して経験を積むことが重要である。データ分析の理論の学修では，数学的な説明に出会うこともあるが，これは必ずしも全ての学生に必要ではなく，情報機器を用いた実習を通して分析手法を学ぶことが優先されるべきであろう。近年はスマートフォンを用いて統計ソフトを操作することも可能であるが，本稿では情報機器を PC として論じていく。PC を用いたデータ分析の実習において，最も利用者数が多いと考えられるのは Microsoft Excel であろう。データ分析の関数の実装が豊富であり，分析された結果を可視化することも容易である。データ分析の初学者にとって，ソフトウェアの操作の負担が少ないことは学修を進める上で重要である。よって本稿では，Excel を用いたデータ分析の実習課題を教科書[2][3]を用いて示す。これにより，データ分析の基本を取得することを目的とする。

ここで，データ分析の学修と同時に情報教育について考える。現在までに，情報教育の重要性は多くの教育機関で認識されてきた。情報機器を使いこなすための情報リテラシーだけでなく，自らプログラミングを行い情報処理を主体的に行うことができる能力が求められている。プログラミング教育は現在小学校においても，発達段階に合わせた学習が必修化されている。

従来行われてきたBasicやCやFortran, Javaなどのテキスト型高級言語から，Scratchなどのビジュアル型言語の開発が進み，多くの小・中学校においては学習教材としてビジュアル型言語が利用されている。また，PythonやRといったインタプリタ型の言語が急速に発展しており，これらの言語は豊富なライブラリが開発されて，多くの研究者や学修者や実用家に用いられている。経営学部におけるプログラミング教育は，基礎的な分法やアルゴリズムの学修を行いながら，データ分析を行う実力を身につけることが求められている。大学ではゼミや研究室に所属すると研究テーマについて，学生は主体的に研究を行う。その際に，取得したデータについて分析を行う場合に，色々な分析方法を試行錯誤しながら分析を行う場合が多い。分析方法は，RやPythonのライブラリが多く公開されている。本稿では，統計ライブラリが豊富であるRを用いた分析の例をあげて，データ分析のためのプログラミング学修の導入を示す。この導入の目的は，学習者が未経験のまま研究に取り組むよりも，Rの多少のプログラミングの経験を有することで，研究の計画がスムーズに立てられると考えられるからである。また，プログラミングやデータ分析の経験は，その後の就職や進路にも有意義な結果をもたらす可能性を高める。経済産業省の「AI人材育成の取組」では，「IT人材の不足は，現状約17万人から2030年には約79万人に拡大すると予測される。」と示している[4]。この危機を救うためにも，Rなどの実用性の高いプログラミング言語の学修は必要である。

データ分析には，種々の分析方法が存在するが，その中で時系列分析は，将来の予測を含み，データ分析の中でも動的に考察対象を扱う分析方法である。確率過程とも深く関わり，様々な方法論が開発されている。ある1時点だけでなく，将来の予測を行うことは人間の考えや行動にも影響を与えるとも考えられる。折谷は，「時系列分析が注目されるのは，統計的な技法として高度である点もさることながら，実証分析のあり方，考え方について再検討を迫る面を持っているからである。」[5]と述べており，方法や変数などについて再検討することが時系列分析の正確性を高めていることを指摘している。このような方法論的に高度で，再検討する側面をもっていることは，学修にとって学びがいのある題材であると考える。

本稿では，Excelによるリテラシーの段階から時系列分析を学修し，プログラミングの学修にいたるまでの題材の提案を行う。実習においてデータ分析は，理論的な内容は統計学により理解されるが，その中で時系列分析は，更に確率過程などが用いられる。この分野の研究の歴史も長く，多くの専門書が出版されてきた[6][7]。これらの専門書は，やや高度な数学を用いて書かれており，現在の教育課題であるデータ分析の手法を多くの大学生が習得する，という目的には，より実践的な教育題材を用いる必要があると考えられる。そこで，多くの大学・学部で学ぶための時系列分析に関する教育題材を考察し，今後の情報教育実践の一つの提案とする。ここで，時系列分析を学ぶことの意義として，身近なデータ（ここでは，コンビニエンスストア売上データ）について，過去のデータから未来の予測ができることを知ることで，学修者はデータ分析の有効性を認識できると考える。株価の変動に興味のある学修者にとっては，予測は必須であるので，その方法を学ぶことは自身の興味に必要な技術を身につけることにつながる。初学者が，実際の株価の予測を実データで行うことは困難であろうが，その基礎的な考え方を学ぶことができ，将来さらに高度な内容に取り組むことができるだろう。

現在，PCの高性能化に伴い，データ分析はPCを用いて実行することができる。龍谷大学経営学部では，毎年一回生の入学時に，PC利用のアンケート調査を行っている[8][9][10][11]。これらでは，講義科目においても龍谷大学に設置されたmanabaコースなどの学習管理システム（LMS: Learning Management System）を用いた実践報告がなされて，検証結果が述べられ

ている。一連の論文中では，2017 年にすでに，現在では授業の一形態として通例となったハイブリッド方式について実践・検証されている[10]。このように多年に渡る研究報告から，情報教育は 5 年から 10 年の間で大きな変遷を迎えてきたことがわかる。現在は，これらの資産を受け継いで，情報機器の利用を更に教育の高度化につなげるための工夫が求められている。限られた授業時間の中で，データ分析を行う能力を学修するには，基礎的な情報処理技術を効率よく学ぶことが必要である。それには，データ分析の理論と PC による演習をできるだけ一体化する方法が有効であろう。本稿での教育題材の提案として、まず初期の PC 演習で教科書[2]を利用し、Excel を利用して，データ分析の学修を開始する。Excel を用いた時系列分析を終えた後に，R 言語を用いた時系列分析の内容のプログラミング演習を学修するための一例を示す。R 言語は，1990 年代にオークランド大学の統計科学を専門とする Ross Ihaka と Robert Clifford Gentleman によって開発された。オープンソース・フリーソフトウェアであり現在は R Development Core Team により開発が進められている。R 言語のプログラミング学習の参考書は，同じスクリプト言語である Python に比べると和書は少ないが，本稿では[12]を参考に演習を進めていく。また方法論がより詳しい[13]も適宜参照する。R の導入の後，ランダムウォークに関する数学的な計算についてまとめる。これは，時系列予測の際に，ランダムな変動を採り入れる場合に使われる方法がランダムウォークであり，本稿で示すのはさらにそれを繰込み群とよばれる方法で計算することで，時間のステップの数とランダムな変動の大きさとを関連づけながら変動を注視することができるからである。これは，教育的には数学的な研究に興味がある学生に適したテーマであろう。

2　Excel を用いた方法

ここでは，Excel を用いて時系列分析を行う方法について教科書[2][3]を基に考察展開する。龍谷大学経営学部で入学時に行われたアンケート調査によると，Excel の初歩的な操作は，高等学校で学んだとのアンケート結果が出ている[8][9][10][11]。また，高校での Excel の習得が不十分な場合でも教科書[2]の第 2 章（西岡）にリテラシーが述べられているので，基本的な操作を身につけることができる。本書において第 9 章（寺島）において時系列分析が述べられている。コンビニエンスストアの月別売上高[14]を用いて，12 カ月移動平均，平均法による季節指数の算出，単回帰式による売上予測などの手法の解説を読み，演習を行い自らデータ分析の結果を確認することができる。本稿においては，教科書の出版以降のコンビニエンスストアの売上データを追加して，第 9 章に述べられた方法により売上データの分析を行った。以下の図 1, 2, 3 において，1 ヵ月ごとの売り上げを示している。図は 2 年間ごとの売り上げデータである。売上高の右の列は，順に，その年の一年間の累計売上高，その月までの過去 12 ヵ月の移動平均，TREND 関数（重回帰による予測），GROWTH 関数（指数曲線による予測），FORECAST 関数（単回帰直線による予測），FORECAST.ETS 関数（指数平滑法による予測。季節性を考慮できる。），予測シート（予測期間

タイムライン	年	月	①売上高	②累計売上高	③１２ヵ月移動平均	TREND関数	GROWTH関数	FORECAST関数	FORCAST.ETS関数	予測シート	（単位：億円）
1	2014年	1月	7,551	7,551		8,305	8,286	8,305	7,648		
2		2月	7,098	14,649		8,316	8,297	8,316	7,079		
3		3月	8,297	22,946		8,327	8,308	8,327	7,915		
4		4月	7,539	30,485		8,338	8,318	8,338	7,552		
5		5月	8,153	38,637		8,349	8,329	8,349	7,559		
6		6月	8,063	46,700		8,360	8,339	8,360	7,535		
7		7月	8,842	55,541		8,371	8,350	8,371	8,153		
8		8月	8,766	64,307		8,382	8,361	8,382	8,041		
9		9月	8,116	72,423		8,393	8,371	8,393	7,925		
10		10月	8,295	80,719		8,404	8,382	8,404	8,048		
11		11月	8,010	88,728		8,415	8,393	8,415	7,893		
12		12月	8,624	97,352	97,352	8,426	8,403	8,426	8,882		
13	2015年	1月	7,877	7,877	97,678	8,436	8,414	8,436	7,767		
14		2月	7,327	15,204	97,908	8,447	8,425	8,447	7,198		
15		3月	8,441	23,645	98,052	8,458	8,436	8,458	8,034		
16		4月	8,177	31,822	98,690	8,469	8,446	8,469	7,671		
17		5月	8,687	40,510	99,225	8,480	8,457	8,480	7,678		
18		6月	8,445	48,955	99,607	8,491	8,468	8,491	7,654		
19		7月	9,321	58,275	100,086	8,502	8,479	8,502	8,272		
20		8月	9,256	67,531	100,576	8,513	8,489	8,513	8,160		
21		9月	8,511	76,043	100,971	8,524	8,500	8,524	8,044		
22		10月	8,785	84,827	101,461	8,535	8,511	8,535	8,167		
23		11月	8,290	93,118	101,741	8,546	8,522	8,546	8,012		
24		12月	8,943	102,061	102,061	8,557	8,533	8,557	9,001		
25	2016年	1月	8,146	8,146	102,330	8,568	8,544	8,568	7,886		
26		2月	7,790	15,936	102,793	8,578	8,555	8,578	7,317		
27		3月	8,646	24,582	102,997	8,589	8,566	8,589	8,153		
28		4月	8,483	33,065	103,304	8,600	8,576	8,600	7,790		
29		5月	8,861	41,926	103,477	8,611	8,587	8,611	7,797		
30		6月	8,723	50,649	103,756	8,622	8,598	8,622	7,773		
31		7月	9,633	60,282	104,068	8,633	8,609	8,633	8,391		
32		8月	9,511	69,793	104,322	8,644	8,620	8,644	8,279		
33		9月	8,744	78,537	104,555	8,655	8,631	8,655	8,163		
34		10月	9,020	87,557	104,790	8,666	8,642	8,666	8,286		
35		11月	8,435	95,992	104,935	8,677	8,653	8,677	8,131		
36		12月	9,079	105,070	105,070	8,688	8,664	8,688	9,120		

図 1　コンビニエンスストア売上データ（2014 年～2016 年）

を指定する。95% 信頼区間を表示できる。）をそれぞれ用いた結果である。

Z チャート図を図 4 に示す。ここで，2018 年までの結果は教科書[2][3]の 9 章の内容と同一であり，2019 年以降は今回新しいデータを用いた結果である[14]。2019 年を見ると 12 ヵ月移動合計はそれまでと同様な右肩上がりを示しており，売上を伸ばしている。しかし，2020 年になると 2020 年 4 月 7 日に発令された第 1 回緊急事態宣言の影響で売上が下がっている。2021 年は，やや増加しているがそれでも当初の予想される売上には達していない。新しく追加したデータの時系列分析により、このような考察を得ることができる。

37	2017年	1月	8,368	8,368	105,292	8,699	8,675	8,699	8,005
38		2月	7,805	16,173	105,307	8,710	8,686	8,710	7,436
39		3月	8,860	25,033	105,522	8,721	8,698	8,721	8,272
40		4月	8,691	33,724	105,730	8,731	8,709	8,731	7,909
41		5月	9,105	42,830	105,974	8,742	8,720	8,742	7,916
42		6月	8,897	51,727	106,148	8,753	8,731	8,753	7,892
43		7月	9,843	61,569	106,358	8,764	8,742	8,764	8,510
44		8月	9,596	71,165	106,443	8,775	8,753	8,775	8,398
45		9月	8,903	80,069	106,603	8,786	8,764	8,786	8,282
46		10月	9,052	89,121	106,634	8,797	8,775	8,797	8,405
47		11月	8,599	97,720	106,798	8,808	8,787	8,808	8,250
48		12月	9,256	106,975	106,975	8,819	8,798	8,819	9,239
49	2018年	1月	8,374	8,374	106,981	8,830	8,809	8,830	8,124
50		2月	7,949	16,323	107,125	8,841	8,820	8,841	7,555
51		3月	9,139	25,462	107,403	8,852	8,832	8,852	8,391
52		4月	8,911	34,372	107,623	8,863	8,843	8,863	8,028
53		5月	9,147	43,520	107,665	8,874	8,854	8,874	8,035
54		6月	9,148	52,668	107,916	8,884	8,865	8,884	8,011
55		7月	9,995	62,663	108,068	8,895	8,877	8,895	8,629
56		8月	9,848	72,511	108,321	8,906	8,888	8,906	8,516
57		9月	9,376	81,887	108,793	8,917	8,899	8,917	8,401
58		10月	9,159	91,045	108,900	8,928	8,911	8,928	8,524
59		11月	8,911	99,956	109,212	8,939	8,922	8,939	8,369
60		12月	9,690	109,646	109,646	8,950	8,933	8,950	9,358
61	2019年	1月	8,770	8,770	110,042	8,961	8,945	8,961	8,243
62		2月	8,257	17,027	110,350	8,972	8,956	8,972	7,674
63		3月	9,303	26,330	110,514	8,983	8,968	8,983	8,510
64		4月	9,159	35,489	110,763	8,994	8,979	8,994	8,147
65		5月	9,407	44,896	111,023	9,005	8,991	9,005	8,154
66		6月	9,283	54,180	111,158	9,016	9,002	9,016	8,130
67		7月	9,870	64,049	111,033	9,026	9,013	9,026	8,748
68		8月	10,035	74,084	111,219	9,037	9,025	9,037	8,635
69		9月	9,354	83,438	111,198	9,048	9,036	9,048	8,520
70		10月	9,408	92,847	111,447	9,059	9,048	9,059	8,643
71		11月	9,064	101,910	111,600	9,070	9,060	9,070	8,488
72		12月	9,697	111,608	111,608	9,081	9,071	9,081	9,477

図 2　コンビニエンスストア売上データ（2017 年～2019 年）

73	2020年	1月	8,857	8,857	111,695	9,092	9,083	9,092	8,362	
74		2月	8,491	17,348	111,929	9,103	9,094	9,103	7,793	
75		3月	8,775	26,123	111,401	9,114	9,106	9,114	8,629	
76		4月	8,170	34,293	110,412	9,125	9,117	9,125	8,266	
77		5月	8,497	42,790	109,502	9,136	9,129	9,136	8,273	
78		6月	8,793	51,583	109,011	9,147	9,141	9,147	8,249	
79		7月	9,079	60,662	108,221	9,158	9,152	9,158	8,867	
80		8月	9,479	70,142	107,665	9,169	9,164	9,169	8,754	
81		9月	9,060	79,202	107,371	9,179	9,176	9,179	8,639	
82		10月	9,142	88,343	107,104	9,190	9,187	9,190	8,762	
83		11月	8,886	97,230	106,927	9,201	9,199	9,201	8,606	
84		12月	9,379	106,608	106,608	9,212	9,211	9,212	9,596	
85	2021年	1月	8,510	8,510	106,261	9,223	9,223	9,223	8,481	
86		2月	7,965	16,475	105,735	9,234	9,234	9,234	7,912	
87		3月	8,983	25,458	105,943	9,245	9,246	9,245	8,748	
88		4月	8,822	34,279	106,594	9,256	9,258	9,256	8,385	
89		5月	8,924	43,203	107,022	9,267	9,270	9,267	8,392	
90		6月	8,923	52,126	107,151	9,278	9,282	9,278	8,368	
91		7月	9,616	61,742	107,688	9,289	9,293	9,289	8,986	
92		8月	9,344	71,086	107,553	9,300	9,305	9,300	8,873	
93		9月	9,140	80,226	107,633	9,311	9,317	9,311	8,758	
94		10月	9,101	89,327	107,592	9,322	9,329	9,322	8,881	
95		11月	8,775	98,102	107,480	9,332	9,341	9,332	8,725	
96		12月	9,715	107,816	107,816	9,343	9,353	9,343	9,715	
97	2022年	1月	8,739			9,354	9,365	9,354	8,600	8,063
98		2月	7,993			9,365	9,377	9,365	8,031	7,486
99		3月	9,127			9,376	9,389	9,376	8,867	8,315
100		4月	9,049			9,387	9,401	9,387	8,503	7,944
101		5月	9,235			9,398	9,413	9,398	8,511	7,944

図 3　コンビニエンスストア売上データ（2020 年～2022 年）

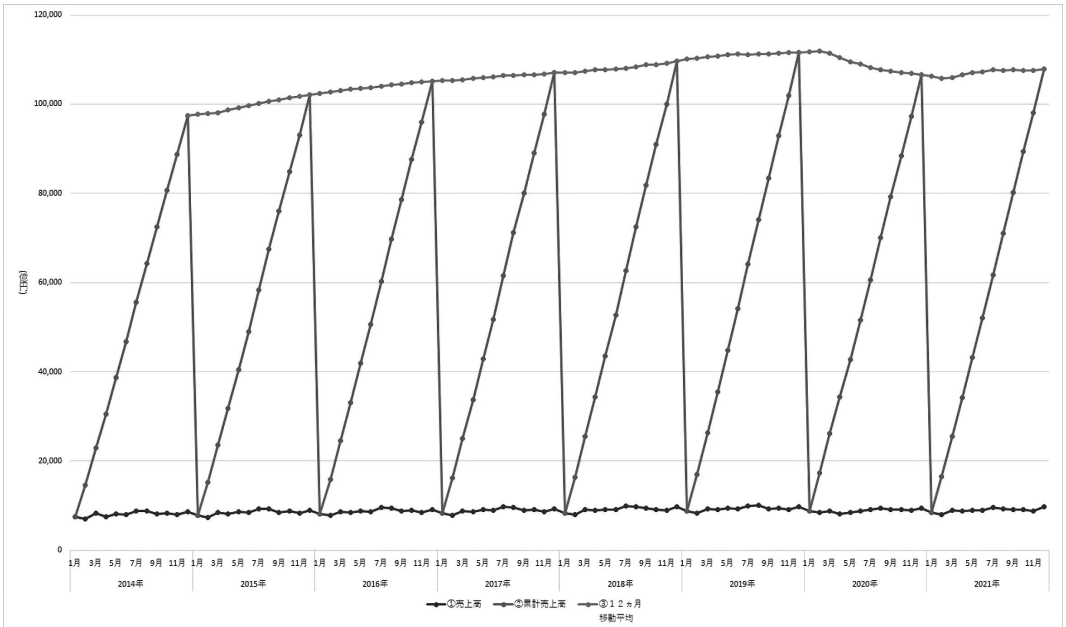


図 4　コンビニエンスストア Z チャート

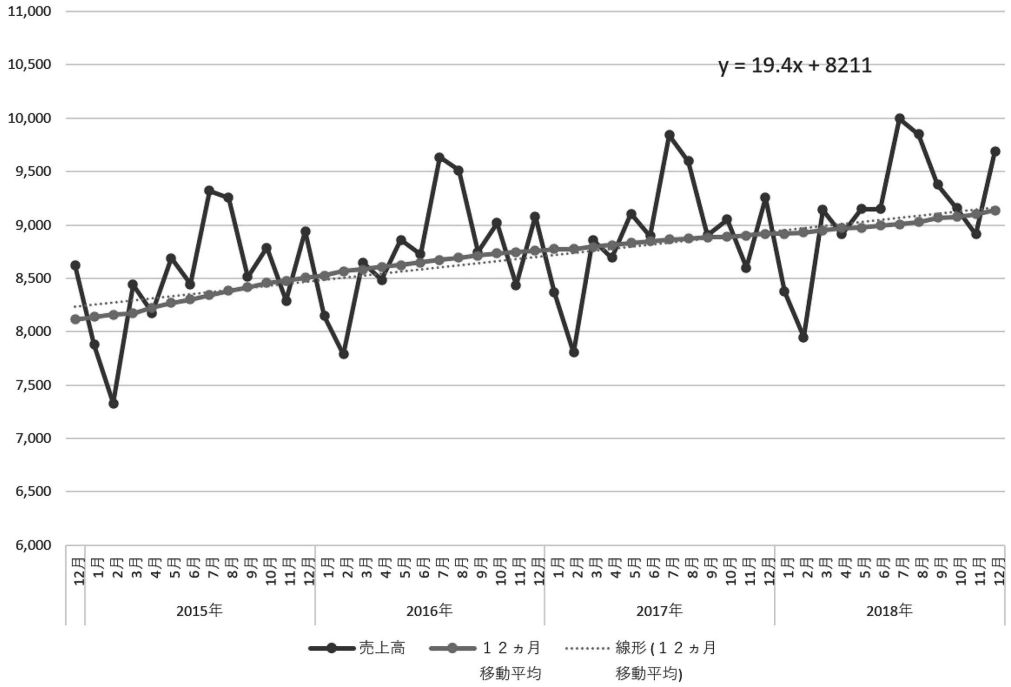


図 5　コンビニエンスストア売上データと線形近似（2015 年～2018 年）

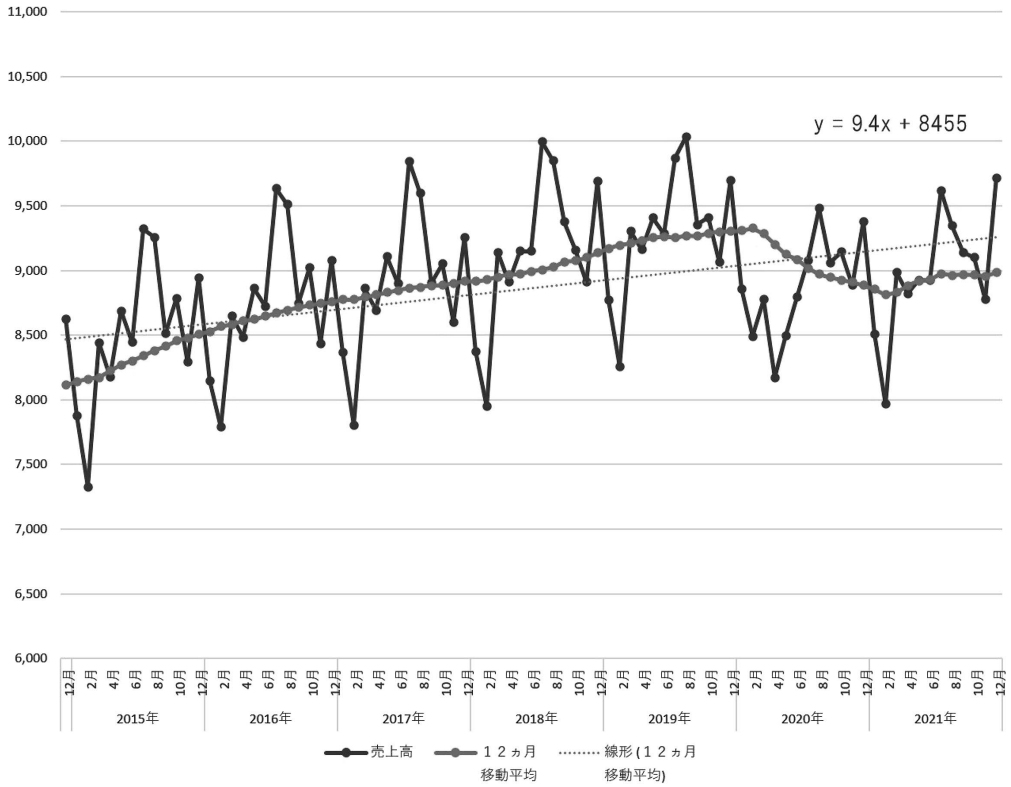


図 6　コンビニエンスストア売上データと線形近似（2015 年～2021 年）

		１２ヵ月移動平均売上高の予測値	季節指数	季節変動を加味した月売上高の予測	2022年実績	偏差	偏差(%)	タイムライン				
2022年	**1月**	9,266	0.93	8,617	8,739	122	1.40	86			873,886	8,739
	2月	9,275	0.87	8,069	7993.1	-76	-0.95	87			799,310	7,993
	3月	9,284	1.00	9,284	9127.27	-157	-1.72	88			912,727	9,127
	4月	9,294	0.96	8,922	9048.67	127	1.40	89			904,867	9,049
	5月	9,303	1.01	9,396	9234.52	-162	-1.75	90			923,452	9,235

図 7　コンビニエンスストア 2022 年売上データの予測値（左から 3 列目の値。）

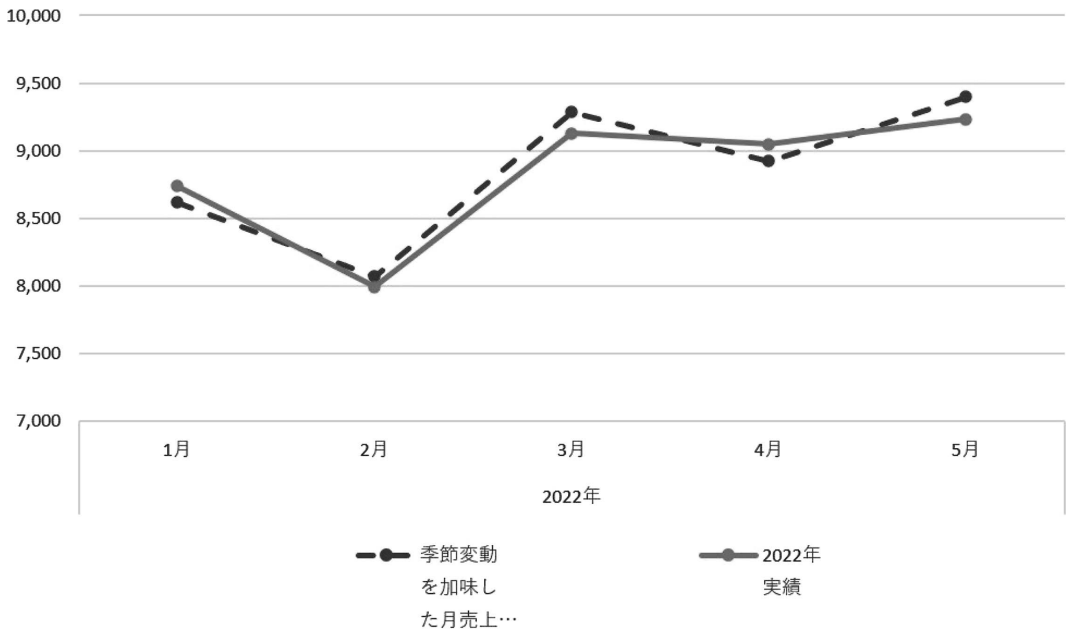


図 8　コンビニエンスストア 2022 年売上データの予測値と実測値

次に，12 ヵ月移動平均に対する線形近似を行った結果を示す。図 5 は，2015 年から 2018 年までの期間であり，傾きは 19.4 であるが，図 6 は，2015 年から 2021 年までの期間で傾きは 9.4 である。

次に，初版 13 章[3]において寺島により予測精度が最も高いと結論付けられた FORCAST.EST 関数を用いた予測シートのデータ（図 7）とグラフ（図 8）を示す。13 章で既に述べられているように，FORCAST.EST 関数は季節変動を考慮しており，それが予測精度を高めていると考えられる。このようにデータを追加しながら時系列分析を実行するといった課題を展開することもできる。

3　R を用いた方法

ここでは，プログラミング言語 R を用いてコンビニエンスストア売上データのデータ分析を行う方をまとめる。ここで R を用いた理由として，統計解析を主目的としたソフトウェアである，オープンソースフリーウェアであり入手しやすい，パッケージが豊富である，などがあげられる。データ分析の専門家が利用するソフトウェアであるので，基礎的な知識は前提とされている。そのため，前項目で行ったように初めに Excel を用いた後に取り組むのが適当である。R のインストーラーは，CRAN（Complete R Archive Network）のホームページから

ダウンロードした。基本機能である base をインストールした。更に，インターフェース開発環境である RStudio をホームページ（https://www.rstudio.com）からダウンロードし，インストールした。R は時系列データをテキスト形式のファイルから読み出すことができる。図 9 において，左側の変数 data と f の変数 sales の値は図ではレイアウト上 2017-10 までと 2017-11 以降で分けて表示した。左側の日付の形式は，今回は年と月をハイフンでつないだが，数字だけ用いて 201710 などと表記してもよい。

date	sales
2014-1	7551
2014-2	7098
2014-3	8297
2014-4	7539
2014-5	8153
2014-6	8063
2014-7	8842
2014-8	8766
2014-9	8116
2014-10	8295
2014-11	8010
2014-12	8624
2015-1	7877
2015-2	7327
2015-3	8441
2015-4	8177
2015-5	8687
2015-6	8445
2015-7	9321
2015-8	9256
2015-9	8511
2015-10	8785
2015-11	8290
2015-12	8943
2016-1	8146
2016-2	7790
2016-3	8646
2016-4	8483
2016-5	8861
2016-6	8723
2016-7	9633
2016-8	9511
2016-9	8744
2016-10	9020
2016-11	8435
2016-12	9079
2017-1	8368
2017-2	7805
2017-3	8860
2017-4	8691
2017-5	9105
2017-6	8897
2017-7	9843
2017-8	9596
2017-9	8903
2017-10	9052

2017-11	8599
2017-12	9256
2018-1	8374
2018-2	7949
2018-3	9139
2018-4	8911
2018-5	9147
2018-6	9148
2018-7	9995
2018-8	9848
2018-9	9376
2018-10	9159
2018-11	8911
2018-12	9690
2019-1	8770
2019-2	8257
2019-3	9303
2019-4	9159
2019-5	9407
2019-6	9283
2019-7	9870
2019-8	10035
2019-9	9354
2019-10	9408
2019-11	9064
2019-12	9697
2020-1	8857
2020-2	8491
2020-3	8775
2020-4	8170
2020-5	8497
2020-6	8793
2020-7	9079
2020-8	9479
2020-9	9060
2020-10	9142
2020-11	8886
2020-12	9379
2021-1	8510
2021-2	7965
2021-3	8983
2021-4	8822
2021-5	8924
2021-6	8923
2021-7	9616
2021-8	9344
2021-9	9140
2021-10	9101
2021-11	8775
2021-12	9715
2022-1	8739
2022-1	7993
2022-1	9127
2022-1	9049
2022-1	9235

図 9　R で用いたコンビニエンスストア売上データ（2015 年 1 月～2022 年 5 月）

売上データのプロット図を出力するためのソースファイルを，Listing 1 に示す。

Listing 1　コンビニエンスストア売上データのプロットを行うソースファイル

```
1 condata = read.table(”conXY.txt”, header = TRUE)
2 plot(condata$sales, type=”l”)
```

ここで，ソースファイルの意味は，以下のとおりである。

1. read.table 機能を使い，テキスト形式の時系列データから condata という名のオブジェクトファイルを作る。その際，1 行目の変数名の使用を header で宣言する。
2. 変数 sales を描く。小文字 ”l” は，実線を示す。

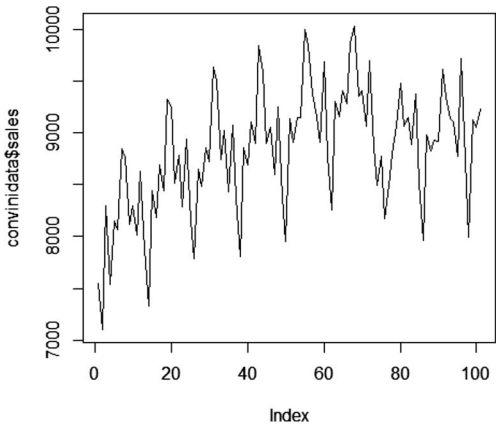


図 10　R のプロット図（2015 年 1 月～2022 年 5 月）

R のプロット図において，横軸はタイムライン（2015 年 1 月～2022 年 5 月）であり，縦軸は売上高（億円）である。Excel で実行した後に R で同様の計算を実行することでプログラミングに対する敷居も低くなると考えられる。

4　ランダムウォークに関する考察

ここでは，時系列分析のランダム項に関して，ランダムウォークに関する数学的なまとめを行う。これは，確率過程に関する数学によるもので，数学的な内容に特段の興味がある場合に取り上げるべき内容である。教科書として[15]の内容をまとめたものである。

基本的な時系列解析では，時刻 t における変量 y_t，定常なトレンド項 δ，定常なランダム項

ε_t を用いて，

$$y_t = \delta + y_{t-1} + \varepsilon_t \qquad (1)$$

（ただし，ε_t の平均値 $E(\varepsilon_t)=0$，分散 $V(\varepsilon_t)=\sigma^2$ であるとする。）として表される。以下，繰り込み群を取り入れたランダム項 ε_t の計算方法について述べる[15]。時系列データにおいて，変動するのは売上データなどの数値であるが，ここでは，ある大きさの無視できる物体（粒子）が x 軸上を原点からランダムに運動する，ことをイメージしている。

1. 粒子は原点（$x=0$）を出発点とし，左右に等確率 $\frac{1}{2}$ で移動する。到着点を $x=\pm 1$ とする。

2. 0 から 1 まで，及び 0 から -1 までを等距離で n 回分割する。$n=1$ であれば，$x=\pm\frac{1}{2}$ に粒子が移動可能な座標を与える。$n=2$ であれば，$x=\pm\frac{1}{4}, \pm\frac{1}{2}, \pm\frac{3}{4}$ が中間の移動可能な座標である。分割数 n の座標点を G_n と表す。（図 11）

3. 到着点までの歩数を $L(\omega)$ とする。ここで，ω とは歩数 $L(\omega)$ で到着点に至るまで通過した座標点の集合（＝パス）を表わす。よって
$\omega=(\omega(0),\omega(1),\cdots,L(\omega))$ と要素で書くことができる。この道のりを経て得られた歩数が $L(\omega)$ である。歩数 i と $i+1$ の座標の差は，$|\omega(i+1)-\omega(i)=2^{-n}|$ である。また，歩数 $L(\omega)$ で到着点に至る道のりは，1 種類ではない。可能な異なる道のりの集合を $\tilde{\Omega}$ と書くと，ω は $\tilde{\Omega}$ の 1 つの要素であるので，$\omega\in\tilde{\Omega}$ である。

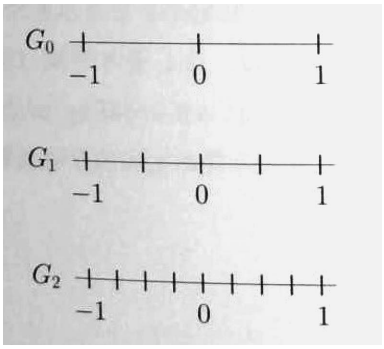


図 11　分割数 $n=0,1,2$ の場合の座標点 G_n

4. 次に，分割数 n の場合に $x=0$ から出発して，$x=1$ で止まるパスのうち最後の 1 歩を除いた集合を $\tilde{\Omega}n$ と書く。$\tilde{\Omega}n$ に属するパスの要素 ω について，次のような級数（ランダムウォークの母関数）を考える。

$$\Phi n(z) = \sum_{\omega\in\tilde{\Omega}_n} b_n(\omega) z^{L(\omega)} \qquad (2)$$

ここで，z は複素数，b_n は 0 または正の数である。x 軸上の単純ランダムウォークの場合は，分割数 n によらず $b_n(\omega)=1$ である，つまり 0 から出発して，1 または -1 に至るどのパスも同等である。歩数 $L(\omega)=k$ と書くと，全てのパスに対する和は，k の全ての値の和（$k=0$ から $k=\infty$）であり，基本である分割数 $n=1$ の場合には，

$$\Phi_1(z) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k z^k \qquad (3)$$

（c_k は，k 歩の全てのパスについて和をとった非負定数）である。
ここで，単純ランダムウォークの結果である $b_n(\omega)=1$，つまり全てのパスが同等であること，を用いると

$$b_{n+1}(\omega) = b_n(\omega) \prod_{j=1}^{L(\omega')} b_1(\tilde{\omega}j) \qquad (4)$$

となり，分割数 1 の場合の係数の積と分割数 n の係数から分割数 $n+1$ の場合の係数が求められる。単純ランダムウォークの場合には，全て

の b_1, b_n，そして b_{n+1} が 1 になる。

5. 以上より，1 次元 x 軸上ランダムウォークの母関数 $\Phi_{n+1}(z)$ は
$$\Phi_{n+1}(z) = \Phi_n(\Phi_1(z)),\ n = 1,,2,\cdots \qquad (5)$$
となる。式（3）と合わせて，この漸化式がランダムウォークの繰込み群である。

6. 次に，得られた繰込み群とランダムウォークの運動の関係を述べる。分割数 n を増やしていく，つまりランダムな動きを細分化する，ことが級数的に求められることになる。ランダムな動きは，どこまで精度よく見極めればよいか，その特性により判断が困難である場合が多い。そこで，あらかじめ求める精度を先に設定し，そこに至る過程を求めることが可能である。これが繰込み群を用いることの実質的な利点である。時系列の事例により確率関数は，適宜選ばれるがその都度繰込み群方程式は解かなければならない。著者も述べているように[15]，発展途上の分野であり今後の研究課題を解決していかねばならない。

5　まとめと今後の課題

本稿では，データ分析，中でも時系列分析を学ぶことを想定した教育題材を提案し，その学修のために必要な情報技術について示した。初めに，Excel の演習を行うがこれは現在すでに龍谷大学経営学部で行われている。受講生は，本稿で述べた Excel によるスキルを習得している。次に，プログラミング言語 R をとり挙げた。これは，Python に変更しても実施可能である。Python もライブラリーが豊富である。現在既に，Python によるプログラミング演習が行われており，受講生はプログラミングのスキルを身につけている。R を用いる場合は，統計数理研究所に TSSS というライブラリーが提供されており，学習や研究の題材として用いることができる。注意すべき点として，R と Python の利用は最終的にはライブラリーの利用を主眼としている点である。文献[12]に述べられているように「R は BASIC, C, Java ほど基礎的な言語ではない」。しかし，目的を時系列分析とする場合は非常に有効である。プログラミング演習であると同時にデータを加工し，グラフ化し，その内容について検討するという「データ分析演習」に適していると考えられる。全てのプログラミング演習を大学で行うことは，時間的な制約があり困難である。より高度な学修とするために各自の独習が重要であろう。そのために，プログラミング教育の基礎を高等学校で行うことが必要になると考えられる。現在中学校の技術科からプログラミング教育が行われることが多いが，そのスタイルはビジュアル型プログラミングが主体である。高等学校では，専門高校ではプログラミング教育が行われることが多いが，普通科では学校ごとに異なる。今後，プログラミング教育について，高校と大学の連携が重視されるべきであろう。

謝辞

本稿は，龍谷大学経営学部経営情報教育研究部会における，諸先生方との交流をもとに書かせていただく機会を得ました。寺島和夫先生，野間圭介先生，西岡久充先生，栢木紀哉先生，小林正樹先生，文能照之先生にお礼申し上げます。

参 考 文 献

［1］“https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220315006/20220315006.html”（経済産業省ホームページ。令和 4 年度「数理・データサイエンス・AI 教育プログラム」認定申請のページ。）
［2］“改訂版　ビジネスデータの分析リテラシーと活用”，寺島和夫編著，同文舘出版，2022.
［3］“ビジネスデータの分析リテラシーと活用　第一版”，寺島和夫編著，同文舘出版，2020.
［4］“www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai”（経済産業省ホームページ。AI 人材開発のページ。）
［5］“時系列分析について，折谷吉治，金融研究第 4 号 1979 年 9 月 pp.33-80”
［6］“時系列解析，E. J. ハナン著，細谷訳，培風館，1974.”
［7］“現代時系列分析”，田中勝人著，岩波書店，

2006.
［8］“経営学部における初期情報教育への試みと検証（3）：6年間の比較分析からの考察”，西岡久充，寺島和夫，小池俊隆，野間圭介，龍谷大学経営学論集　第53巻第3号，2014.
［9］“経営学部における初期情報教育への試みと検証（4）：6年間の比較分析からの考察”，西岡久充，寺島和夫，小池俊隆，野間圭介，龍谷大学経営学論集　第54巻第3/4号，2015.
［10］“講義科目におけるブレンディッド・ラーニングの実践とその評価”，西岡久充，寺島和夫，小池俊隆，野間圭介，龍谷大学経営学論集　第56巻第4号，2017.
［11］“龍谷大学経営学部における情報教育の現状と今後の展開”，西岡久充，寺島和夫，小池俊隆，野間圭介，龍谷大学経営学論集　第58巻第1号，2018.
［12］“R による時系列分析入門”，田中孝文著，シーエーピー出版，2008.
［13］“R による時系列モデリング入門”，北川源四郎著，岩波書店，2020.
［14］https://www.jfa-fc.or.jp/particle/320.html（日本フランチャイズチェーン協会ホームページ。）
［15］“ランダムウォークとくりこみ群－確率論から数理物理学へ－”，服部哲弥，共立出版，2004.

（受理　2022年7月25日）