

都市水害論 (4)

——江戸時代の災害(つづき)と災害による社会変動モデル——

土屋 義人

NATURAL WATER HAZARDS IN URBAN AREAS (4)

——Disasters in Edo Period (continued) and a Mathematical
Model for Socio Changes Due to Natural Hazards——

By *Yoshito* TSUCHIYA

Synopsis

In the 4th report, as part of the natural hazards in the Edo period and their historical changes, fires and their changes due to population concentration in the urban areas are first considered, and secondly historical changes in riots and farmer disorders, and their localities are also studied by using Aoki's data of riots and disorders.

In relation to urbanization in Edo, population was concentrated there, resulting in fire disasters which take seasonally place and increase annually. In the occurrence frequencies of riots and farmer disorders, remarkable locality in the clans exists due to their policy and rice currency which reflect social disturbances and riots.

In the last part, a mathematical model for socio changes due to natural hazards and related social environment is proposed by applying current knowledge of synergetics. An application of the model through logistic models is made to the population changes in the Jomon, Yayoi and Edo periods. It was concluded that the population changes in these periods can be well explained by the model in relation to the occurrence frequencies of natural hazards and related social disturbances.

緒 言

自然災害の変遷を社会構造, または社会環境の変化との関係で考察する場合には, 自然の外力の時空間特性との関係に注目すべきことはいうまでもないことであるので, この都市水害論においては時間スケールを適当に想定してその時代, または期間における災害事象について考察してきた。そのような時間スケールのうちで, 約300年のタイムスケールを対象とすることとして, 江戸時代の災害についてとりまとめた結果を前回報告したが, 紙数の都合上, またわたくし自身この年報の原稿提出の時期, とくに研究所長として多忙にしていたため, すべての図面などの整理を終了していたにもかかわらず, 人口の都市集積と火災, 一撥とその地域性についてのとりまとめを残してしまっていた。したがって, 第4報の前半においては, これらについて報告することにする。つづいて, 当初の予定では同程度の時間スケールにおける

災害の変遷を考察すべき期間として、水稲技術の導入による初期の社会環境を対象として弥生時代をとりあげることにしておいたが、研究所内の公務に追われて帰宅してから、人類の歴史の中に埋没できるわずかの時間の楽しみにおいて、ともすれば力学的な思考が頭をもたげがちとなり、いつの間にか Synergetics に興味を移すことになった。情報化、都市化が急激に進んできた都市時代を迎えるに当り、災害の予測論もまた社会構造の複雑さに注目しなければならないように思われる。その場合、対象となるであろう複合災害の形態に対して、力学的アプローチを基礎として研究していくのも正攻法として特記されるが、社会構造の構成要素の多様性から、そこに存在するであろう協同現象に注目したアプローチが存在してもよく、そのような構成体に自然の外力が作用しそれがターゲットとなり、人間の生活の場、社会環境における行動との関係で社会変動が起こり、それがときに波及して大災害に発展することになるものと考えられるであろう。

本文の後半では、前述したような社会変動のモデルを参考にしながら、社会の発展に伴う社会指標の時間発展において、気候変動などに依存する気象災害の発生とその継続がターゲットになり、これに社会環境、行政などがそれら自身大きく関与して、著しい社会変動を起こしてきた歴史的背景を単純なモデルによって説明できないかと考えてきたので、その思考の一端を述べることにする。いまだ十分な追求の結果ではなく、さらに基本的な思考を必要とするが、このようなアプローチも自然災害の予測論として存在してもよいように思うので、ここにあって報告する。

6.4 人口の都市集中と火災

すでに、タイムスケール 2,000 yr における火災の変遷について考察したように、当時の政治の中心が京都にあったときにはそこでの火災発生件数が著しく、それは人口の都市集中と深く関係した。また、全国統一後、政治の中心が江戸に移ってきた 17 世紀にはそこに火災が多発したが、それらのことは Fig. 48 によって考察されたわけである。ここでは、江戸時代における火災の発生と人口の都市集中との関係について、吉原⁷⁰⁾による江戸災害年表を用いてさらに詳細に考察する。

まず、この災害年表によって毎年の火災発生件数 N_F を集計して図示すると、Fig. 74 に細い折線のようなになる。すなわち、17 世紀初頭より 50 ~ 70 yr 程度の周期で変動し、明治維新前において急増している。この事実をさらに明確にするために、10 年ごとに集計して太い折線によって示すと図中のようになり、そこには明らかに前述した火災発生件数の経年変化に周期性が存在することがわかる。気象学的な要因について考察するまえに、当時の社会における対応について考えておこう。この図には火災発生件数のすべてについて集計してあるので、大火（その規模の定義は別として）の発生件数について同様な図を作成することもきわめて有意義であろう。ここでは江戸時代の大火として後世に伝えられているもの、すなわち 1) 桶町の大火（死者数 100 名, 1641 yr）、2) 振袖火事（死者 10 万人, 1657 yr）、3) 八百屋お七の火事（死者 3,500 名, 1682 yr）、4) 六道火事（死者 1,323 名, 1745 yr）、5) 目黒行人坂の火事（死者 400 名, 1772 yr）、6) 己丑の火事（死者 2,800 名, 1829 yr）、7) 青山火事（死者多し, 1845 yr）、8) 江戸地震（死者 3,895 名, 1855 yr）などがあげられるが、これらのほとんどは Fig. 74 に現れている周期性の火災多発時代に含まれている。そして、これらのうち江戸の大火が原因となって改元したものが多い。このことはすでに児玉ら⁸¹⁾によって指摘されているように、江戸時代における改元数 36 回のうち、実に 13 回が当時の災害の頻発によったものようであるが、このうち 1) 明暦より万治 (1658 yr)、2) 正徳より享保 (1716 yr)、3) 明和より安永 (1772 yr)、4) 文政より天保 (1781 yr)、5) 天保より弘化 (1844 yr) などは前述した後世に残された大火とともに、Fig. 74 の火災発生件数の周期性の中に埋もれていることがわかるであろう。

後述するように、江戸の火災には著しい季節変化があり、火災発生件数は冬期に集中している。このことを考慮して、日光東照宮における天気指標の経年変化を示した Fig. 53 における雨の指標 D_r の変化に着目すると、その大部分が冬期の季節風によるものであるとすれば、その経年変化に存在する 50 ~ 70

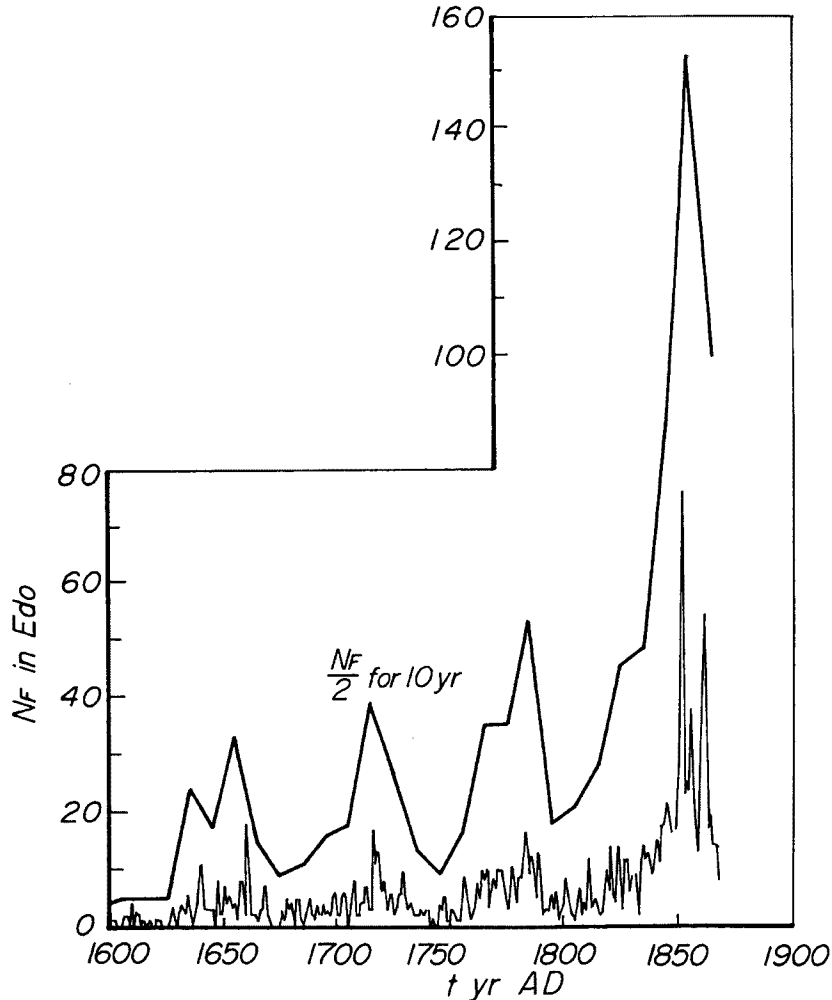


Fig. 74. Historical changes of occurrence number of fires and its ten years average in Edo.

yr の周期性は Fig. 74 に示した江戸における火災発生件数の経年変化ときわめてよく対応していることが指摘される。荒川⁶⁵⁾によれば、山川氏によって、江戸の大火の発生とくに延焼方向と気象条件との関係が調べられ、1) SSE 方向へ延焼する火災群と、2) NNE 方向へ延焼する火災群とがあることを見出している。これに対する荒川の気象学的説明によれば、1) は冬から春先の季節風が吹きつづけると数十日間も降雨がないことがあり、このため NW からの季節風（空っ風）によって大火になる場合であり、2) は春先に日本海を強い低気圧が通ると春一番といわれる S からの強風が吹き、それによって延焼される場合であろうと述べている。これと前述した日光東照宮の天気経年変化との関係については、さらに荒川が指摘しているような天気図との対応を見出すべきである。

次に、Fig. 74 に示した火災発生件数を用いて、その季節変化を示すと Fig. 75 のようになる。これは 1600 yr より各 50 年ごとの期間に分けて図示してあるが、1850 yr からの期間は資料の都合上明治維新（1868 yr）までとなっている。さらに、この結果から各期間で表示した火災発生件数の季節変化の経年的な変動を見出すために、6 月を発生件数の最小月として全発生件数の 25% になる月（Summer to Winter）と 6 月から逆かのぼって 25% となる月（Winter to Summer）を計算して、それらの経年変化を図示すると Fig. 76 のようになる。これらの図から江戸における江戸時代の火災発生件数の季節変化

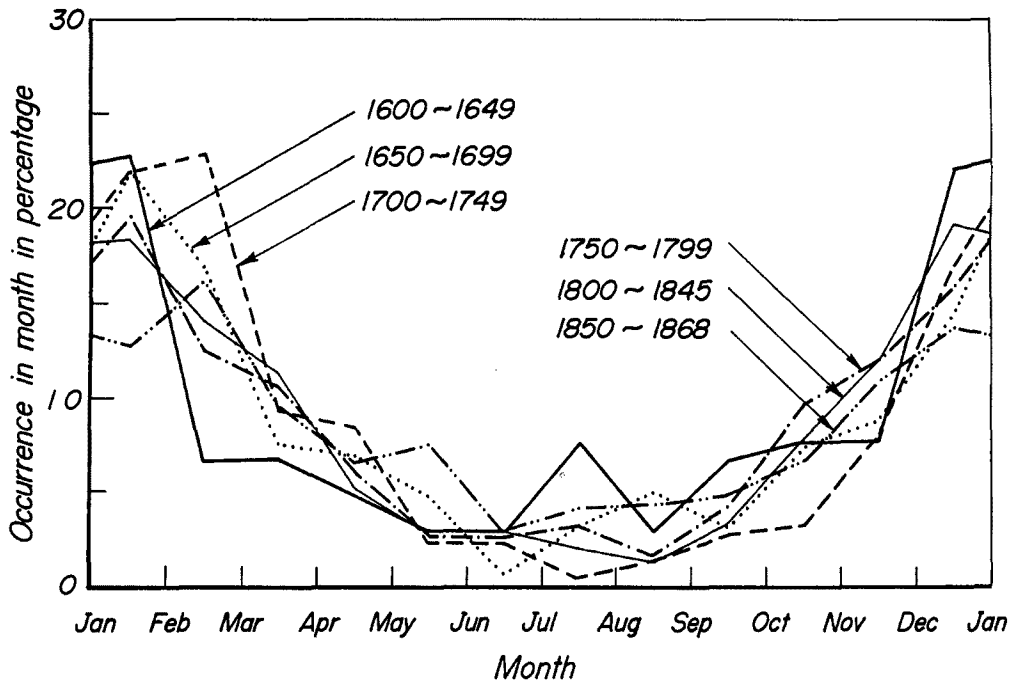


Fig. 75. Seasonal changes of occurrence number of fires in Edo classified in several periods mentioned.

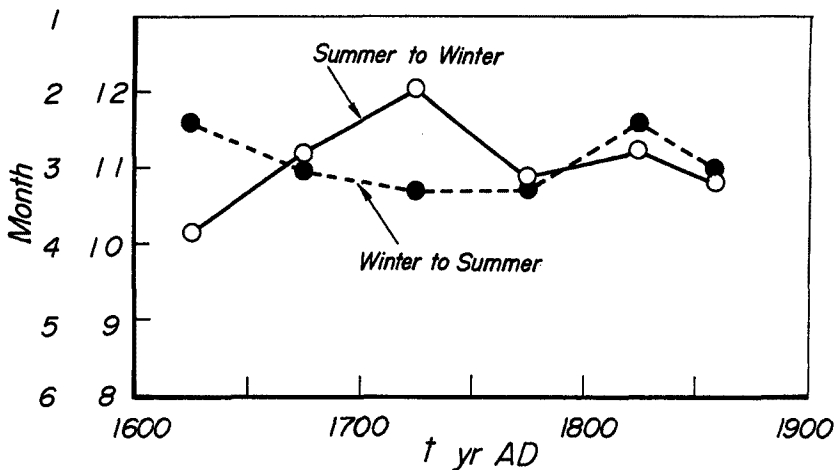


Fig. 76. Historical changes in seasonal transition months in fire occurrence from winter to summer, and summer to winter.

とその経年的変動について次のことがわかる。まず、火災の発生に著しい季節変化があることで、夏期に少なく冬期に著しい集中を示すし、その期間は11月より翌年3月までで、季節風の卓越する期間である。そして、当時の照明は燈油による行灯などであったうえに、ほとんどの建物が木造であったことがその原因を助長していたといえる。大石²¹⁾が述べているように、当時、江戸町方人口を調べた町奉行大岡越前守忠相は4月と6月で女子人口が急増していることに注目したが、これは火災の少ない夏期になったので、避難させていた女性を呼び戻したためであるとわかり、これが前述した江戸における火災の季節変化の表れであり、冬期に火災が多発していたかを物語るものであろう。このような火災発生の季節変化に

経年的変動の存在については、火災発生急増が起った時期が変動したこと、すなわち 1700 yr からの 50 年間ではその時期が通常 11 月頃であったのに 12 月頃からになっており、また 1600 yr からの 50 年間では 10 月頃からと通常より早期に発生していることがわかる。これは多分当時の季節風などの来襲時期の変動によったものであるかも知れない。また、火災の発生件数の少ない夏期への移行時期についても約 1 ヶ月程度の変動があり、これは前述した場合と対照的である。

以上のように、江戸時代においては火災が江戸に集中し、火事は江戸の華とまでいわれるようになったが、この傾向は前述したように江戸遷都前の京都、あるいは江戸時代の消費地であった江戸、大阪、京都などいわゆる人口の集中するところに火災が集中し、それは人口とともに増大していったのである。吉原⁷⁰⁾によれば、この中で、町奉行大岡忠相は就任早々だったが、享保 2 年 (1717 yr) になってようやく江戸町火消制を施行し、防火に行政的据置をとったのである。ついで、3 年後には町火消組合が再編成され、防火建築の奨励が行われた。しかし、消火技術の進歩はほとんどなく、さらに文政 13 年 (1831 yr) には町市防火令が出され、町ぐるみの防火、消火体制の強化が図られた。これは各町ごとにその防火、消火の責任体制、相互扶助体制を義務づけようとしたものといわれる。Fig. 74 に示した図からも明らかのように、この時代には火災発生が急増したので、ついに嘉永 5 年 (1852 yr) には火の元嚴重の申し渡しが出され、防火に一層の行政的指導がとられた。一方、京都では江戸と比較すると、火災の発生件数は Fig. 48 に示したようになりに少ない。その原因として、最初にあげるべきものは政治の中心がこの時代京都より江戸に移っており、人口の集中度が異なっていたことであるが、このほか次の 3 つ、すなわち森谷⁸³⁾が述べているように、1) 京都は内陸部に位置しているため、強風による延焼などが比較的少ないこと、2) 近世初頭よりすでに瓦葺の屋根が普及しており、防火建築となっていたこと、および 3) 中世以来の町共同体における自衛意識が伝統的に強固であったうえに、元和 6 年 (1620 yr AD) に発生した放火による大火以後、防火体制が一層強化されたことによるようである。

なお、江戸時代にはこのほか城郭の火災が頻発したが、それらの原因については種々のものがあり、とくに内乱に関係するもののほか落雷によるものが少なくない。ここでは気象災害として都市水害の変遷について考察しているので、雷災との関係についてふれておく。日下部^{50~61)}による災害年表を用いて雷災の発生件数 N_{rd} をとりあげ、西ヶ谷⁸²⁾による城郭史年表から城郭の焼失件数 N_{co} を集計して、それらを 50 年ごと、および 10 年、50 年ごとにとりまとめて図示すると Fig. 77 のようになる。これによると、17 世紀、すなわち全国統一以後の約 100 年間においては数多くの城郭の火災が発生しており、そこでは雷災の発生件数も増加している。しかし、18 世紀以降では雷災の発生件数が増加しているが、城郭の火災との関係は明らかでなく、避雷針などによる城郭の防火対策が図られた結果かも知れない。

6.5 一揆とその地域性

時間スケール 2000 年の災害史の中で、すでに 5.6 として内乱、一揆などの変遷について述べたが、ここでは米社会としての江戸時代における一揆について、その発生件数の経年変化と地域性について考察する。わが国における百姓一揆については、その社会構造との関係から考察したものが多く、数多くの名著として研究成果が公表されている。それは稲作農業を主体とする米作社会において、次第に荘園制度が確立する段階で農耕地が開発されていったが、同時にこの時代における気候変動による風水害の発生、急ぎ過ぎた開発による洪水災害の頻発などによって、たびたび発生した大飢饉により多数の犠牲者を出し、その過程において義伝承があり、社会構造の改革へと進展していったと思われるが、ここでは横山³⁸⁾による名著に刺戟され、700 頁を超える百姓一揆の総合年表を作成された青木⁴⁰⁾の努力に感銘して、一揆の変遷とその地域性について総観的に考察することにしたい。

1) 青木総合年表の整理

この総合年表には 3,212 件の百姓一揆などが集録されている。百姓一揆といっても、その形態、規模には種々のものがあるが、通常、不穏、逃散、愁訴、越訴、打ちこわし、強訴、および蜂起の 7 つに分けら

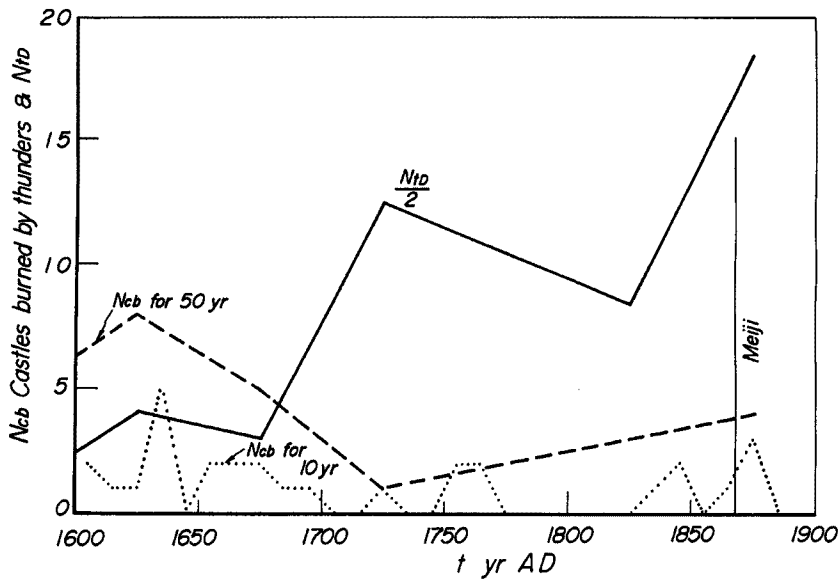


Fig. 77. Changes in occurrence number of thunder disasters and number of castles burned for every ten and fifty years.

れ、この順にその活動が強化されるが、それらの規模や社会的な影響は大きく相違するといわれる。これらの発生件数の集計とその経年変化の考察においては、まず青木による年次別一揆件数表によることとし、そこに示されている分類、すなわち1) 百姓一揆、2) 都市騒擾、および3) 村方騒動により、それらの発生件数の10年ごとの平均値をそれぞれ N_{Rf} 、 N_{Ru} および N_{Rv} とし、その合計件数を N_R で表すことにする。そして、このような一揆などは社会構造がほぼ同質であればその発生件数は人口とともに増加するであろうと考えられるので、わが国の総人口 N との比でそれぞれ N_{Rf}/N 、 N_{Ru}/N 、 N_{Rv}/N 、および N_R/N のように表示する。

一方、前述した一揆の7つの形態のそれぞれについて考察することは大体労働的であるうえに、これらの分類そのものがかなり主観的であろうと思われるので、一揆の発生状況の歴史的な変遷を調べるという目的からするとあまり有効ではない。むしろ、これらを抱括する指標によって一揆というものの変遷とその地域性を考察すべきであると考え、横山³⁸⁾の指標を採用する。すなわち、前述した7つの形態において、それらの社会的な影響の強弱を考え、1) 不穩、逃散、愁訴を同等に各一件と評価し、2) 強訴、打ちこわしを同等として各2件分と評価し、さらに3) 蜂起はこれを3件分と評価して集計し、その合計を一揆発生件数 N_{Ri} (ただし、 i は後述するような分類による地域名を表す) として表示する。また、地域の分割は江戸時代の社会流通の地域性を考慮して、横山³⁸⁾による分類、すなわち1) 東北地方(陸奥、陸中、陸前、羽後、羽前、岩代、磐城)、2) 関東地方(安房、上総、下総、常陸、下野、上野、武蔵、相模)、3) 東海地方(伊豆、駿河、遠江、三河、尾張、美濃)、4) 中部山地(飛騨、信濃、甲斐)、5) 北陸地方(越後、佐渡、越中、能登、加賀、越前、若狭)、6) 近畿地方(近江、山城、丹波、淡路、摂津、河内、和泉、大和、紀伊、伊勢、甲賀、志摩)、7) 四国地方(阿波、土佐、伊予、讃岐)、8) 山陽地方(播磨、備前、美作、備中、備後、安芸、周防、長門)、9) 山陰地方(丹後、但馬、伯耆、因幡、出雲、石見)、10) 九州地方(筑前、筑後、豊前、豊後、日向、大隅、薩摩、肥前、肥後)、および11) 諸島(樺岐、壱岐、対馬および諸島)によることにし、25年ごとの平均値でそれらの諸量を評価することにした。

2) 一揆発生件数の経年変化

まず、青木総合年表⁴⁰⁾の集計表を用いて、わが国の全人口 N との比で表した百姓一揆の発生件数 $N_{Rf}/$

N 、都市騒擾の発生件数 N_{Ru}/N 、村方騒動の発生件数 N_{Rv}/N 、および全一揆数 N_R/N を Table 1 に一括表示してあるが、それらの経年変化を Fig. 78 に示す。また、Fig. 79 には各年の全一揆数（細い折線） N_R とその 10 年ごとの平均値を全人口 N との比 N_R/N で表し、人口 N の経年変化とともに図示してある。これらの図にはいずれも 1868 yr AD として明治維新の時期を明記してあるが、これらから次の事実を見出すことができる。まず、一揆の発生件数をわが国の全人口との比で表しても、それは 17 世紀初頭より明治維新に及ぶ期間にわたって変動こそあれ、全般的には増加の傾向を明らかに示してきたことであって、これは稲作を主体とする米社会がいかにも不安定な社会で、民権の尊重に向けてこのような経過をどうしてとらなければならなかったかと思うほど、そこには農民を主体とする下層階級の犠牲が大きかったか反省しなければならぬであろう。次に、これらの図によれば、それほど明確ではないが、一揆の発生件数の経年変化にはここに図示した約 270 年の期間において 6 回のピークが現れており、その平均周期は約 50 年であることがわかるが、とくに注目すべきことは 18 世紀の後半から明治維新の直前までに 3 つの大きなピークが存在し、一揆がとくに卓越したことである。それはすでに第 3 報において詳細に考察したように、この時代に大きな気候変動が現われ、それが米社会における社会構造と関係して、災害の発生のみでなく、未曾有の飢饉として大きな社会の不安定として現れたのとよく対応している。

Table 1. Historical changes in occurrences of riots and farmer disorders and their ratios relative to total population.

t yr AD	Farmer riot N_{Rf}	Urban disorder N_{Ru}	Village disorder N_{Rv}	$N \times 10^6$	$\frac{N_{Rf}}{N} \times 10^{-6}$	$\frac{N_{Ru}}{N} \times 10^{-6}$	$\frac{N_{Rv}}{N} \times 10^{-6}$	N_R	$\frac{N_R}{N} \times 10^{-6}$
1590-1600	3.1	—	—	3.00	1.00	—	—	3.1	1.00
1601-1610	4.1	—	—	3.21	1.28	—	—	4.1	1.28
1611-1620	6.5	—	1.0	3.42	1.90	—	0.29	7.5	2.19
1621-1630	5.8	—	2.0	3.70	1.57	—	0.54	7.8	2.11
1631-1640	3.3	0.5	2.7	3.98	0.83	0.13	0.68	6.5	1.63
1641-1650	3.6	0.1	1.0	4.29	0.84	0.02	0.23	4.7	1.10
1651-1660	3.6	—	1.9	4.64	0.78	—	0.41	5.5	1.19
1661-1670	5.4	0.1	2.9	5.06	1.07	0.02	0.57	8.4	1.66
1671-1680	5.8	0.4	3.7	5.53	1.05	0.07	0.60	9.9	1.79
1681-1690	5.5	0.2	6.4	6.10	0.90	0.03	0.25	12.1	1.98
1691-1700	5.4	0.2	4.6	6.70	0.81	0.03	0.69	10.2	1.52
1701-1710	6.9	0.3	5.5	7.26	0.95	0.04	0.76	12.7	1.75
1711-1720	9.1	0.6	7.0	7.60	1.20	0.08	0.92	16.7	2.20
1721-1730	8.2	0.4	7.1	7.78	1.05	0.05	0.91	15.7	2.02
1731-1740	11.3	2.1	8.1	7.82	1.45	0.27	1.04	21.5	2.75
1741-1750	14.7	0.9	7.8	7.80	1.88	0.12	1.00	23.6	3.03
1751-1760	12.2	1.6	7.6	7.67	1.59	0.21	0.99	21.4	2.79
1761-1770	9.8	2.0	9.0	7.60	1.29	0.26	1.18	20.8	2.74
1771-1780	8.4	1.4	12.0	7.52	1.12	0.19	1.60	21.8	2.90
1781-1790	25.7	10.5	13.9	7.54	3.41	1.39	1.84	50.1	6.64
1791-1800	11.8	1.2	15.5	7.62	1.55	0.16	2.03	28.5	3.74
1801-1810	11.0	1.1	16.9	7.76	1.42	0.14	2.18	29.0	3.74
1811-1820	17.4	0.8	20.8	7.89	2.21	0.10	2.64	39.0	4.94
1821-1830	17.5	3.7	23.9	7.96	2.20	0.46	3.00	45.1	5.66
1831-1840	35.3	8.9	33.9	8.00	4.41	1.11	4.24	78.1	9.76
1841-1850	14.5	2.1	30.6	8.00	1.81	0.26	3.83	47.2	5.90
1851-1860	18.3	2.9	33.5	8.02	2.28	0.36	4.18	54.7	6.82
1861-1867	33.7	9.1	33.7	8.08	4.17	1.23	4.17	76.5	9.47
1868-1880	49.9	2.4	15.1	8.35	5.98	0.29	1.81	67.4	8.07

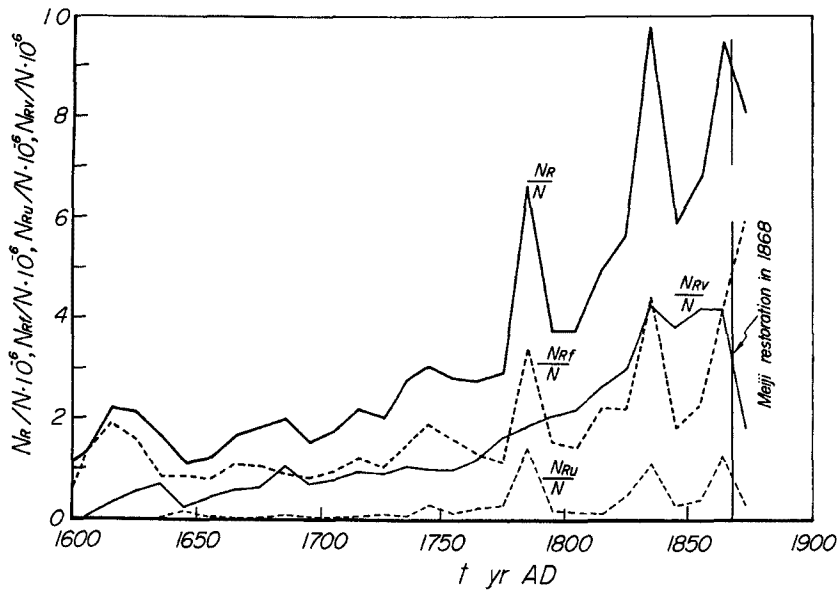


Fig. 78. Historical changes in occurrence number of total riots, farmer disorders, urban disorders, and village disorders relative to total population.

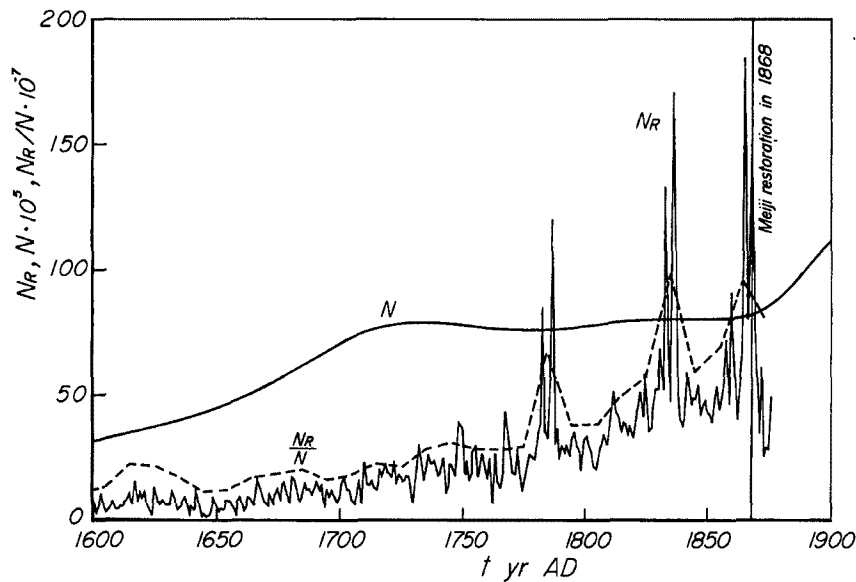


Fig. 79. Historical changes in occurrence number of riots and its ratio relative to total population in relation to total population.

最後に、Fig. 78 によれば一揆の発生件数の主要部分を占める百姓一揆の発生件数においてのみ、前述した周期性と18世紀後半における大きなピークの見出すことができるが、このことは前述した事実を補強するものと考えてよい。これに対して、都市騒擾と村方騒動においては、前者に若干この傾向が見出されるが、後者にはそのような周期性は確認されず、単調に増加の傾向を持続したことがわかる。

また、Fig. 79 に示した毎年ごとの一揆の発生件数の経年変化とその30年ごとの移動留積を求め、わが国の総人口 N との比 N_R/N で表わにした結果によれば、1) 人口との比で表した一揆の発生件数は Fig. 78 の場合と同様に時代とともに増加の傾向を示し、そこにはより鮮明に周期性の存在を再確認すること

ができること、さらに２）毎年ごとの発生件数の時系列について、さらに詳細な解析を行えば、このほかの卓越する周期性の存在を見出すことができるかも知れない。これらについてはそのほかの災害事象について、改めてその周期性の出現関係について考察するつもりである。さらに、３）この間において、1780 yr AD, 1830 yr AD, 1860 yr AD 前後において、とくに一揆の発生件数が大きなピークとして現われているのは、これまで詳細に考察してきたように、たとえばその一例を **Figs. 67** および **68** によっても明らかのように、災害や干ばつによって飢饉が頻発した時期で、著しい社会の荒れをもたらした時代であったわけで、そこでは多くの住民の不満と社会改革への動きが始っていたのである。

３）一揆の地域性

前述した青木総合年表の整理法に従って集計整理した結果を **Table 2** に一括表示する。横山³⁸⁾は一揆の発生指標とその諸幡（国）の石高 R との比で表し、百姓一揆発生係数と定義したが、ここでは一揆発生数をその諸幡（国）の人口で除した比を改めて百姓一揆発生係数 N_{Ri}/N と定義し、それと石高に対する人口比 N_i/R との関係で考察することにする。

まず、**Fig. 80** は前述したように分けた地域別の一揆の発生指標 N_{Ri} (i は各地域を示す) の経年変化を示したものであり、また **Fig. 81** はそれを各地域の人口との比で表して図示したものである。これら両者の図を比較しながら考察すれば、次のことがわかる。１）**Fig. 80** の表示によれば、各地域とも一揆発生数は時代とともに増加しているが、これらの集計が25年ごとに行われたために、**Figs. 78** および **79** に示したような周期性は明確には現れない。２）各地域を比較すると、東北地方が最も多く、そこには周期的な変動もある程度見出すことができる。３）一方、**Fig. 81** のように各地域の人口との比で表示すると、中部山地、東北地方はいずれも同じ傾向を示す。すなわち、17世紀初頭で著しく多発して、それから18世紀初期にかけて減少する傾向を示し、かなり著しい変動を表しながら、次第に増加し、人口当りの一揆発生件数が著しく多かったことがわかる。これはすでに飢饉などの発生について検討したように、気候変動に伴う著しい社会不安によるものである。４）そのほかの地域では、人口に対する一揆の発生件数の経年変化の傾向はほとんど同様であるが、山陰地方だけが若干傾向を異にし、とくに1740 yr AD 頃に著しく多くなっていることがわかる。このことは **Fig. 71(c)** および **(d)** に示したように、この時期には洪水災害などが集中的に頻発したことを考えると、それらが遠因になったものといえよう。いずれにせよ、さらに各地域における災害の発生や社会構造などの関係で考察すべきであるが、一揆の発生件数にはかなりの地域性があり、それが経年変化にも表れているといつてよい。なお、**Fig. 82** にはこのような当時の社会情勢に対処するために、幕府は数多くの施策をとってきたが、なかでも幕府が公布した法的なものの件数 n_{GL} とし、その経年変化を示す。図中、点線はこのための施策そのものでないものについて経年変化を示している。これから明らかなように、17世紀初頭よりその件数は増加し、1740 yr AD をピークとして公布されたようであるが、この傾向は一揆の発生件数よりはむしろ災害の発生件数の増加とよく対応し、また人口の経年変化における成長期から著しい停滞期を迎えたころに関係している。しかし、この時期には風水災害が頻発し、また早ばつ、飢饉などによって社会が著しく不安定となったわけで、それを治安するための施策であったはずである。

次に、各幡ごとの人口に対する一揆発生件数 N_{Ri}/N が何に依存するかについて考察する。横山³⁸⁾はこの問題に対して、一揆発生件数を石高（万石）で除した数値、すなわち単位石高当りの一揆発生件数として評価したが、前述したように一揆の発生は人口の多いほど多くなるものと考えれば、それは人口に対する発生件数として評価の方が妥当なように思われる。当時は稲作を中心とする米社会であることに着目すれば、それを人口を石高で除した数値、すなわち単位石高当りの人口、いいかえればその逆数として単位人口当りの石高との関係で表示すればよいであろう。ただし、そこには当時の米社会における流通機構、藩の財政や災害時への対応などと深く関係するであろうから、まず地域ごとに前述した関係を検討することにする。まず、6.2(3)において考察したように、米の流通、災害時への対応などから、中部山地の地域はその他の地域に比べて、その社会構造が相異したように想像されるので、ここではそれらの2つに

Table 2. Historical changes in nominal occurrence number of all stages of riots and disorders in every clan and district classified in relation to rice production and total population (Aoki's data of riots and disorders were used).

$N_R, R, N_R/N$ t yrAD		N_R											$R \cdot 10^4$ in koku	$\frac{N}{R}$	$\frac{N_R}{1801 \sim 1875}$	$\frac{N_R}{N}$	
		1590~ 1600	1601~ 1625	1626~ 1650	1651~ 1675	1676~ 1700	1701~ 1725	1726~ 1750	1751~ 1775	1776~ 1800	1801~ 1825	1826~ 1850					1856~ 1875
Clans																	
Tohoku District	Mutsu	1	0	0	0	0	0	1	4	9	11	12	12	38	—	35	—
	Rikuchu	1	1	1	13	9	7	9	5	40	37	63	65	42	—	—	—
	Rikuzen	3	0	6	0	0	2	0	3	4	0	9	11	70	—	—	—
	Ugo	3	47	8	0	6	3	1	4	14	6	34	13	49	—	—	—
	Uzen	8	1	25	17	6	13	11	22	17	6	23	38	80	—	—	—
	Iwashiro	0	5	5	9	2	20	36	18	19	18	25	89	76	—	—	—
	Iwaki	0	2	3	2	3	13	41	2	17	17	21	29	61	—	—	—
	Subtotal	16	56	48	41	26	58	99	58	120	95	197	257	416	—	—	—
Kanto District	Abo	0	0	0	0	6	2	0	2	0	0	2	10	1693	2	1.18	
	Kamifusa	0	2	2	0	2	0	4	0	11	6	9	6	43	1027	21	4.75
	Shimofusa	0	0	0	5	3	6	3	0	19	5	6	16	68	810	27	4.90
	Hitachi	0	6	2	1	2	5	4	9	14	10	9	21	101	600	40	6.59
	Shimozuke	0	1	5	1	2	3	2	7	4	2	6	45	77	606	53	11.35
	Kozuke	0	1	0	4	16	7	8	9	19	12	23	39	64	836	74	13.82
	Musashi	2	6	2	4	4	11	4	13	16	22	26	34	128	1617	82	3.96
	Sagami	1	1	0	2	1	5	2	2	6	2	9	1	29	1169	12	3.54
Subtotal	3	17	11	17	36	39	27	42	89	59	88	164	520	—	—	—	
Tokai District	Izu	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	5	8	1910	5	3.27	
	Suruga	0	4	1	0	0	1	3	3	3	8	14	6	25	1382	28	8.10
	Totomi	0	1	0	2	5	2	5	2	4	6	11	16	37	1226	33	7.27
	Mikawa	0	1	2	2	7	4	20	3	10	3	20	28	47	1110	51	9.76
	Owari	5	2	0	0	0	2	0	2	2	0	9	7	55	1396	16	2.08
	Mino	2	1	0	7	12	3	8	14	16	16	19	28	70	1016	63	8.85
	Subtotal	7	10	3	11	24	13	37	25	36	33	73	90	242	—	—	—
Chubu-sanchi	Hida	0	1	0	2	6	3	4	14	5	4	3	10	6	1770	17	16.00
	Shinano	4	20	12	17	16	11	13	33	29	22	34	71	77	1222	127	13.49
	Kahi	1	1	0	6	2	0	2	0	2	6	9	9	31	1156	24	6.69
	Subtotal	5	22	12	25	24	14	19	47	36	32	46	90	114	—	—	—
Hokuriku District	Echigo	8	5	0	1	4	8	20	9	31	33	31	47	114	1222	111	7.96
	Sado	0	2	4	2	2	6	5	5	0	2	3	2	13	939	7	5.73
	Ecchu	0	2	1	0	1	4	1	4	3	10	4	17	80	586	31	6.61
	Noto	1	0	0	3	4	0	0	2	0	8	0	8	28	819	16	6.97
	Kaga	0	0	0	0	0	10	10	9	2	6	9	8	48	567	23	8.44
	Echizen	0	1	1	1	2	5	4	17	10	7	26	7	69	652	40	8.89
	Wakasa	0	0	3	2	1	0	0	0	2	0	4	1	9	1078	5	5.15
	Subtotal	9	10	9	9	14	33	20	37	8	33	46	43	361	—	—	—
Kinki District	Ohmi	2	7	2	5	4	7	3	9	12	9	20	20	85	779	40	6.04
	Yamashiro	0	2	1	0	0	0	0	4	4	0	2	4	23	2445	6	1.06
	Tanba	0	3	0	2	11	12	17	19	14	9	14	3	32	1075	26	7.55
	Awaji	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	0	6	10	1416	13	9.18
	Settsu	0	1	1	0	2	0	4	6	15	2	16	37	42	2230	56	5.97
	Izumi	0	2	2	2	0	0	3	4	2	3	4	7	17	1430	14	5.75
	Kawachi	0	1	1	0	2	4	5	12	6	4	14	16	29	981	34	11.95
	Yamato	0	3	0	2	0	8	4	8	15	14	13	19	50	845	44	10.41
	Kii	0	7	1	0	1	2	0	0	4	19	2	9	44	1377	30	4.95
	Ise	0	0	0	4	0	0	6	2	7	3	4	14	72	820	21	3.55
	Iga	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	11	959	0	0
	Shima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2420	0	0
Subtotal	2	26	8	15	20	26	39	64	85	70	89	135	417	—	—	—	

Table 2. Continued.

$N_R, R, N_R/N$ t yrAD	N_R												$R \cdot 10^4$ in koku	$\frac{N}{R}$	$\frac{N_R}{1801 \sim 1875}$	$\frac{N_R}{N}$	
	1590~ 1600	1601~ 1625	1626~ 1650	1651~ 1675	1676~ 1700	1701~ 1725	1726~ 1750	1751~ 1775	1776~ 1800	1801~ 1825	1826~ 1850	1856~ 1875					
Clans																	
Matsumae	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	6	—	—	—	—	
Shikoku District	Awa	0	2	4	5	1	2	5	7	7	17	27	3	27	1987	47	8.76
	Tosa	3	5	0	3	3	6	0	5	12	3	5	11	33	1637	19	3.51
	Iyo	6	6	3	7	3	4	23	22	32	33	38	53	46	1506	124	17.90
	Sanuki	0	0	2	0	3	4	12	3	2	1	4	15	29	1733	20	3.97
	Subtotal	9	13	9	15	10	16	40	37	53	54	74	82	135	—	—	—
Sanyo District	Harima	0	0	0	1	4	6	16	5	14	8	20	24	65	1114	52	7.17
	Bizen	0	0	0	3	0	2	0	3	5	3	6	20	42	901	29	7.66
	Mimasaku	0	1	0	1	4	0	11	2	7	6	10	22	25	775	38	19.61
	Bichu	0	0	5	0	3	4	4	12	6	19	10	17	36	1136	46	11.24
	Bigo	0	0	0	0	2	11	3	21	23	3	9	17	31	1352	29	6.92
	Aki	0	0	0	2	1	9	8	9	10	5	23	18	31	2128	46	6.97
	Suho	0	1	0	2	0	25	2	2	6	11	16	4	49	1009	31	6.27
	Nagato	0	0	0	0	2	7	3	4	2	2	2	8	40	752	12	3.99
Subtotal	0	2	5	9	16	56	31	50	54	57	70	130	319	—	—	—	
Sanin District	Tango	0	0	1	2	2	2	6	1	6	4	0	5	15	1240	9	4.83
	Tajima	0	3	0	2	2	3	10	8	7	9	14	16	14	967	29	13.63
	Hakubi	0	0	0	2	2	5	18	5	7	2	3	10	22	979	15	6.96
	Inaba	0	0	0	2	4	2	4	0	2	2	2	8	18	872	12	7.64
	Izumo	0	0	0	0	0	2	6	5	5	8	2	8	30	1214	18	4.94
	Iwami	0	0	0	0	2	8	3	0	6	9	7	18	17	1764	34	11.34
	Subtotal	0	3	1	8	12	22	47	19	33	34	28	65	116	—	—	—
Kyushu District	Chikuzen	0	0	2	2	2	0	0	0	0	3	2	12	65	650	17	4.47
	Chikugo	0	0	0	1	2	5	5	2	0	0	3	5	38	915	8	2.30
	Buzen	0	0	2	1	0	0	4	2	0	9	2	13	37	788	24	8.22
	Bungo	2	1	0	3	1	1	12	5	0	33	1	25	42	1351	—	—
	Hyuga	0	3	0	8	9	11	13	11	7	8	8	32	34	860	48	16.41
	Ohsumi	0	0	0	0	0	0	4	6	1	2	0	4	17	737	6	4.78
	Satsuma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	32	928	8	2.69
	Higo	0	0	4	1	0	1	6	7	17	19	34	11	61	1443	64	7.27
	Hizen	0	2	4	3	4	0	14	4	5	3	5	8	71	1174	16	1.91
Subtotal	2	6	12	19	18	18	44	37	30	74	59	114	97	—	—	—	
Shoto	Okii	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3	—	—	3	—
	Iki	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	19	166	4	12.65
	Tsushima	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	1	—	—	3	—
	Subtotal	0	2	0	0	1	0	0	2	2	2	2	6	—	—	—	—
Total N_R	43	161	118	169	205	295	403	422	548	543	691	1092					
N_R/N	3.50×10^{-6}	13.1	6.74	9.66	7.25	10.43	12.88	13.61	18.20	17.66	21.31	33.68					
$N_R/N \Delta t$	3.50×10^{-7}	5.24	2.70	3.86	2.90	4.17	5.15	5.44	7.28	7.07	8.52	13.35					

分けて前述した関係を考察することにしよう。そうすると、Fig. 83(a) および (b) に示すような結果が得られる。すなわち、(a) は中部山地の地域であり、(b) はその他の地域における一揆発生件数と人口比 N_R/N と人口対石高 N/R との関係を示す。これから直ちに分ることは両者の関係が全く相反すること、すなわち前者では一揆発生件数と人口比 N_R/N は人口対石高 N/R の増加とともに、次第に増加するが、後者では減少の傾向を示す。このことは次のように理解されるであろう。まず、中部山地の地域では、米の流通は悪く、主として近隣の諸藩がその藩内に限られている場合が多いと思われるので、単位石高当り

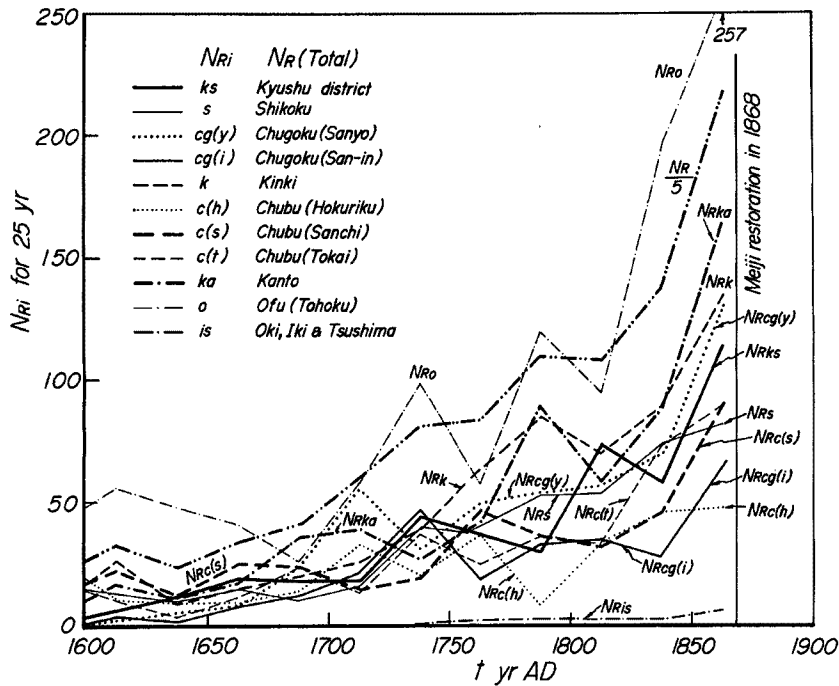


Fig. 80. Historical changes in number of riots in several districts classified, and total number of riots occurred.

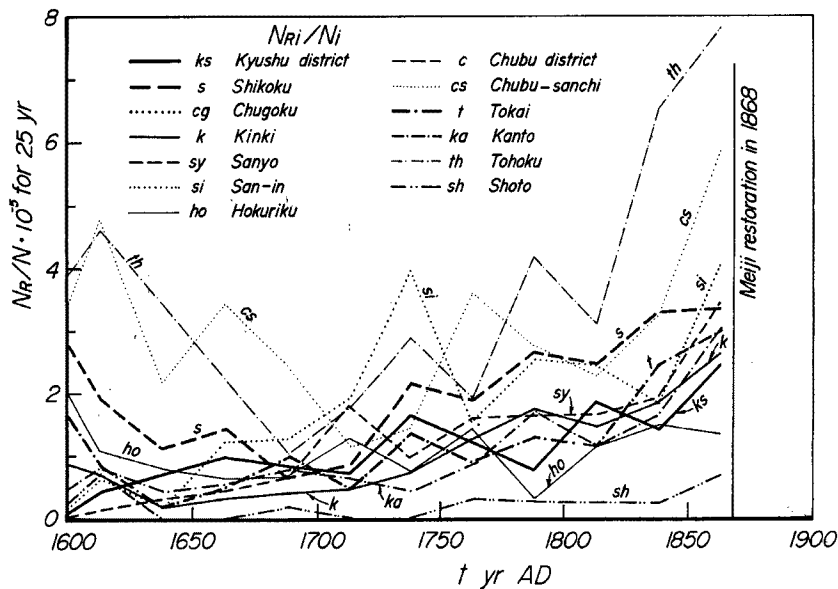


Fig. 81. Historical changes in number of riots in several districts classified, relative to their populations denoted by where refers to district.

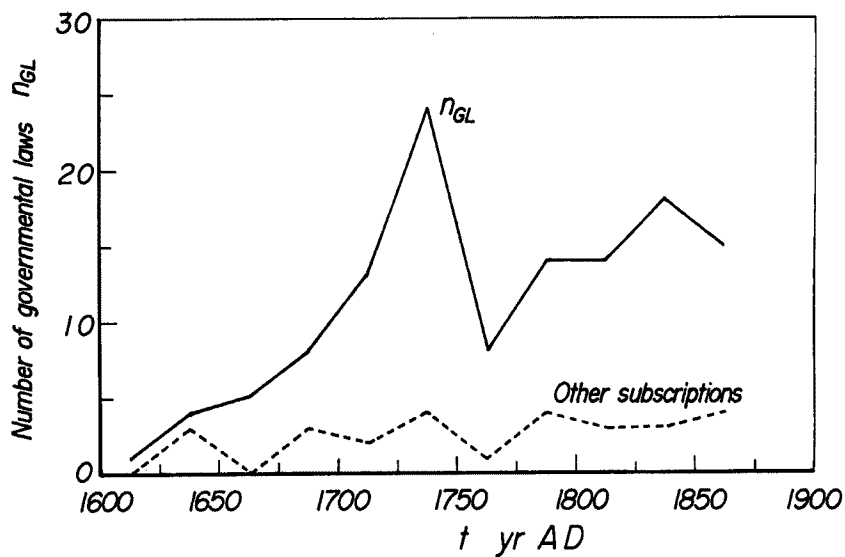
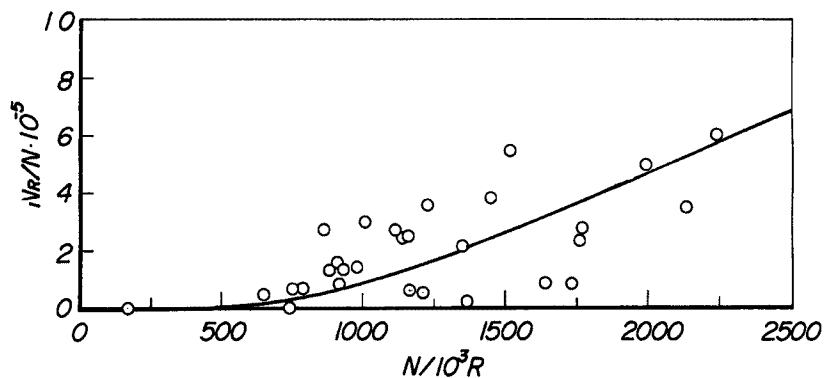
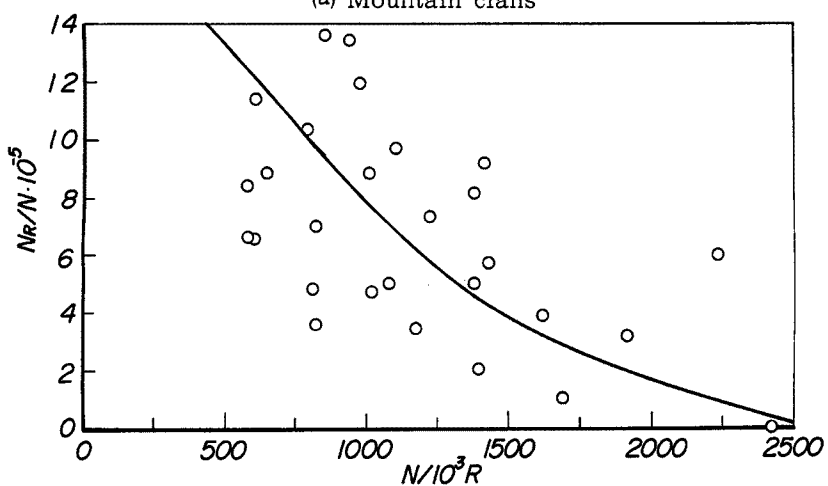


Fig. 82. Historical changes in number of governmental laws and articles, and other subscriptions enforced for frequent occurrence of natural disasters, riots and disorders in Edo period.



(a) Mountain clans



(b) Other clans

Fig. 83. Relation between occurrence of total riots relative to clan population, and clan population per koku for rice production.

の人口が増加すると、その米社会は不安定となりがちとなり、一揆などの社会騒動が多発する傾向になるものと思われる。これに対して、後者の場合、すなわち米の流通はその主要な生産地から多くの場合、米の消費地としての江戸、大阪などの主要都市へ搬入されてしまうので、単位石高当りの人口が少ないほど、すなわち人口当りの米の収穫量が多いほど、収穫された米が直接仲買人によって消費地に搬入されるので、かえって社会不安の原因を作ることになり、百姓一揆などの社会騒動が多発する結果となったのではなからうか、と思われる。

7. 災害による社会変動モデル

最近、自然科学における Synergetics⁸⁴⁾ の新分野が開拓され、構成要素間の協動的な相互作用が存在するような閉鎖、解放系を表す静的または動的な集団的現象が取り扱れるようになってきた⁸⁵⁾。われわれが生存する社会空間は、多成分の要素から構成され、それが人間を中心とする社会として形成されている。このような社会の数理モデルは Weidlich ら⁸⁵⁾によって定式化され、かれらの著書として公表されている。本節では、かれらの社会の数理モデルを用い、かつわれわれの社会が何かの外力、たとえば自然の外力の作用によってそこに新たな協動的な相互作用が現れるとすれば、社会構成は動的に推移することになる。このような立場から、その外力として災害を起さしめる自然外力をとりあげ、それによる社会変動を予測できるようなモデルの構築を試みるつもりである。いまだ未完成というべきであるが、このモデルによって説明できる若干の実例について述べる。

7.1 社会配位の数理モデル

ここでは、Weidlich ら⁸⁵⁾に従って、まずある居住地域への住民の居住対応が相互作用をもつ集団の移住、出生死亡過程として取扱い、他地域へ移動することを住民が決心するときには、そのときの社会配位 (socio-configuration) を考慮に入れるはずだとして、そこに存在する各種の遷移確率過程を考え、確率流束の保存則から社会配位を表す運動方程式 (本当は、連続方程式のはず) が得られることを示す。

社会集団のマクロな状態が、そこに存在する A 個の局面に対して l 個の可能な状態が存在し、さらに N 人からなる集団を考え、それが N_a 人から構成される P 個の部分集団に分けられるとすれば、 PL 個 (ただし、 l 個の状態が A 個の局面に対応できる総数を L とする) とすれば、そこにある社会配位はその空間の 1 点として表される。すなわち、 $\alpha = 1, 2, \dots, P$, $i = 1, 2, \dots, L$ で、 n_{ai} で居住地域 i にある集団に属する住民数を表すことにすれば、 $n \equiv \{n_{ai}\} \in S$ となり、このときある社会配位 $n \in S$ から他の配位 $(n+k) \in S$ への遷移確率を $w[k, n]$ と表し、次のように表示する。

1) 一般的な移住に対する遷移確率 この場合は、 n と傾向パラメータ k に依存する遷移確率で表されるとして、次式で表示する。

$$w_{ji}^{\alpha}[k, n] = \begin{cases} n_{ai} \mu_{ji}^{\alpha}(n, k); & k = \{\dots 0, \dots 1_{\alpha j}, \dots (-1)_{ai} \dots 0 \dots\} \\ 0; & \text{その他の } k \end{cases} \dots \dots \dots (2)$$

2) 地域 i の集団に属する住民の出生・死亡に対する遷移確率 ここでは、基本的にたとえば社会配位の対象を人口 N としたとき、それが logistic の法則が含まれるような遷移確率を考える。Weidlich ら⁸⁵⁾の取扱いは、次に示すように、そこに含まれる分布関数に一般性をもたせて拡張したものであるが、住民数 n_{ai} への依存性は logistic 方程式の表示によっているといえる。すなわち、出生、死亡に対する遷移確率をそれぞれ $w_{ji}^{\alpha}[k, n]$ および $w_{di}^{\alpha}[k, n]$ とし、前者は n_{ai} に、また後者は n_{ai} と n_{ai}^2 の和にそれぞれ比例するとして、次式で表示している。

$$\left. \begin{aligned} w_{i+}^a[k, n] &= \begin{cases} n_{ai}\beta_i^a(n, k); k = \{\dots 0 \dots 1_{ai} \dots 0 \dots\} \\ 0; \text{その他の } k \end{cases} \\ w_{i-}^a[k, n] &= \begin{cases} n_{ai}\delta_i^a(k, n) + n_{ai}^2\gamma_i^a(k, n); k = \{\dots 0 \dots (-1)_{ai} \dots 0 \dots\} \\ 0; \text{その他の } k \end{cases} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

さらに、Volterra-Lotka の遷移確率のように、被食、捕食の関係を導入することもできるが、それは将来、人類による地球環境変化に伴う自然からの反作用による社会変動などを取扱う場合に適用できるかも知れないので、ここでは次の機会に残しておく。

このような 2 つのプロセスによる社会配位の遷移確率を考えると、全体の遷移確率 $w[k, n]$ はそれらの和として次式で表される。すなわち、

$$w[k, n] = \sum_{i=1}^L \sum_{a=1}^P w_{i+}^a[k, n] + \sum_{i=1}^L \sum_{a=1}^P \{w_{i+}^a[k, n] + w_{i-}^a(k, n)\} \dots\dots\dots (4)$$

一方、条件付確率の定義を用いて、社会配位が時間 t において状態 $\{n_{ai}\}$ をとる確率を $p(n; t)$ とし、 $p_{t+\tau, t}(n_0+k, n_0)$ を導入して十分小さい τ に対してこれを表せば、 $p_{t+\tau, t}(n_0+k, n_0) = \tau w_i[k, n_0]$ となる。ただし、 $w_i(n_0+k, n_0)$ は社会配位が n_0 から n_0+k に変化するときの遷移確率を表す。したがって、式 (4) による遷移確率を通じて表される確率流束 $p(n; t)$ の保存則を作ると、それは多少形式的に次式で表される。

$$\frac{dp(n; t)}{dt} = \left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_M(n; t) + \left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_{BD}(n; t) \dots\dots\dots (5)$$

ここに、右辺第 1, 2 項はそれぞれ式(2) および (3) で表される移住および出生・死亡の遷移確率に対する確率の変化を示している。この方程式を用いて実際に

$$\langle n_{rk} \rangle_t = \sum_n n_{rk} p(n; t) \dots\dots\dots (6)$$

で定義される平均値の運動方程式が求められるし、また分散の定義からその方程式を誘導することもできる。

いま、1 例として Weidlich ら⁸⁵⁾によって示された出生・死亡過程について述べよう。この場合は式 (4) および (5) においていずれも右辺第 2 項のみを取り扱えばよく、1 つの集団に対して式(5) は次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp(0; t)}{dt} &= \mu_0 p(1; t) \\ \frac{dp(1; t)}{dt} &= -(\lambda_1 + \mu_1) p(1; t) + \mu_0 p(2; t) \\ \frac{dp(n; t)}{dt} &= \lambda_{n-1} p(n-1; t) - (\lambda_n + \mu_n) p(n; t) + \mu_{n+1} p(n+1; t) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

ここに、前述したように出生、死亡過程は logistic 方程式に対応するものとして n 依存性を出生に対しては 1 次、死亡に対しては 2 次まで考えることにして、出生率と死亡率との関係は次式で表される。

$$\lambda_n = \lambda n, \mu_n = \mu n + \frac{(\lambda - \mu)}{K} n^2 \dots\dots\dots (8)$$

ただし、 $\lambda > \mu$, $\lambda, \mu, K > 0$ であり、 K は人口の時間発展の極限に対応する。確率分布 $p(n; t)$ がもし単峰的なものであるとすれば、 $\langle \lambda_n \rangle \approx \lambda \langle n \rangle$, $\langle \mu_n \rangle \approx \mu \langle n \rangle$ と仮定してよいので、

$$\langle n^l \rangle_t = \sum_{n=0}^{\infty} n^l p(n; t) \dots\dots\dots (9)$$

で表される積率の時間発展を考え、平均値 $\langle n \rangle_t \equiv N$ および分散 $\sigma_N(t) = \langle n^2 \rangle_t - \langle n \rangle_t^2$ に対する方程式を求めると、それぞれ次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= \gamma N \left(1 - \frac{N}{K}\right) \\ \frac{d\sigma_N}{dt} &= (2\lambda - \gamma)N + \frac{\gamma}{K}N^2 + 2\gamma\sigma_N \left(1 - \frac{2N}{K}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

この式によれば、平均値としての人口 N は第1式のように logistic 方程式として表され、その分散が第2式で計算できることを示している。Weidlich ら⁸⁵⁾は式(10)による解を式(7)による任意の確率分布をもつ場合の厳密解と比較し、単峰的な分布を仮定すると平均値、分散ともにかなり相違することを示している。ここではむしろこのように社会配位に対して遷移確率の導入により確率流束の保存則を適用することによって、logistic 方程式が導かれることに興味をもち、自然災害など社会動乱による社会指標（たとえば、人口などを対象として）の時間発展への適用を試みることにしよう。

7.2 災害による人口変動のモデル

前述した社会変動の指標としての人口 N の変動モデルは前述したように式(11)によって近似的に表されるが、ここではその第1式にまず着目して、自然災害などによる人口の減少とそれに対する防災対策などの項を付加して次式で表示しよう。

$$\frac{dN}{dt} = \underbrace{\gamma N \left(1 - \frac{N}{K}\right)}_{\text{Logistic term}} - \underbrace{F(N, t)}_{\text{Natural forces}} + \underbrace{G(N, t)}_{\text{Control term}} \dots\dots\dots (11)$$

いいかえれば、式(11)はその平均値の運動方程式として、人口 N の時間発展が logistic term によって規制され、それが災害など自然外力、社会構造から原因する外力としての natural forces と、さらにこれを制御しようとする人類の英知 control term とによる協同現象として位置づけられる。ただし、ここに natural forces $F(N, t)$, control term $G(N, t)$ はいずれも本当は時空間を変数とし、一般には人口 N にも関係するであろうが、ここでは空間的な拡がりについては今般の発展とすることとし、logistic term とともに、それぞれ次のように表すことにしよう。

1) 各項の表示と外力ポテンシャル

まず、logistic term のみとりあげれば、式(11)は次式となる。

$$\frac{dN}{dt} = - \frac{\partial V}{\partial N} \dots\dots\dots (12)$$

ただし、 V は logistic potential として、次式のように表される。

$$\frac{V}{K^2} = \frac{\bar{N}^2}{6} (3 - 2\bar{N}) \dots\dots\dots (13)$$

ここに、 $\bar{N} \equiv N/K$ である。Fig. 84 は式(13)による logistic potential を図示したものであるが、いうまでもなく $0 < \bar{N} \leq 1$ においてのみ人口の時間発展が示され、 $\bar{N} = 1$ において飽和することになる。ただし、もしこの系から移行して異なるポテンシャルの過程をとる場合があるとすれば、その時点で K の値が変動したことになり、結果的には著しい人口変動としての停滞、減少を生ずるであろうし、また反面急激な増加を表すこともあろう。

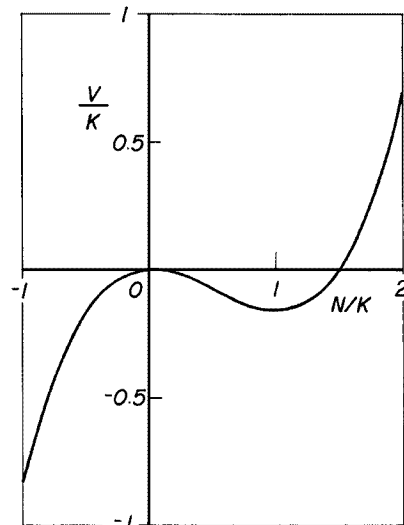


Fig. 84. Logistic potential and its existence.

Natural forces $F(N, t)$ をどう表示するかは、大きな問題であるが、ここでは一般的表示としてある natural force に対応した threshold F_c が存在するとし、その値を超過した場合に限り、影響を表すと考える。すなわち、

$$F(N, t) = N\{F(t) - F_c\} = \begin{cases} NF(t); & F(t) > F_c \\ 0; & F(t) \leq F_c \end{cases} \dots\dots\dots (14)$$

この場合、人口 N に対して線形関係にあると仮定したが、そうすれば Natural force-potential V_F は次式のように表される。

$$\frac{V_F}{K^2} = \frac{1}{2} N^2 \{F(t) - F_c\} \dots\dots\dots (15)$$

そして、一般には $F(t)$ は時空間スケールに応じてすでに Fig. 4 に示したように変動する性格のものである。

つぎに、control term についての表示を考える。これには通常2つの形態が存在すると考えられる。その1つは、たとえば防災技術のように、科学技術の進歩に伴って人類、その形成する社会が災害を被らなぬようになってくるような科学、技術の進歩に依存するものである。この場合は、control term は時間的に増大するような傾向の関数として与えられるが、ときとしてその技術に基づく対策を施工する途中において、かえって大災害の要因となる場合も少なくない。すなわち、このような対策の実施には時間が必要であり、かつ完成してはじめて新期の効果が期待されるのである。そして、完成後は適切な補修を必要とし、それを怠ればその機能効果は直ちに減少することになる。一般的に、このような性格をもつ control term を導入することは可能であるが、実際にはそれらの重じゅう作用の方が困難となるであろう。いま1つは、法規制のような形式であり、歴史的にはたとえば1664 yr AD に施行された「諸国山川掟」にみられるように、その効果がある期間のみ期待される場合もあれば、長期間にわたって履行されるものもある。また、それらの効果をどう評価すべきかなど思考すべきことは少なくないが、ここでは若干形式的ではあるけれども次のように表現しておく。すなわち、制定後の一定期間後にきわめて有効な効果が期待されるものとして、次式を与えよう。

$$G_1(N, t) = \begin{cases} 0; & t < t_0 \\ 1; & t \geq t_0 \end{cases} \dots\dots\dots (16)$$

そして、ある時期までは効果が期待されるが、その後その効果は減少するものとして、次式を与えることにしよう。

$$G_2(N, t) = G_0[G_1(t) - G_1(t-t_0)\{1 - e^{-\beta(t-t_0)}\}] \dots\dots\dots (17)$$

これらの時間発展を Fig. 85 に模式的に示すが、さらに前述した科学、技術の進歩に対応したものの表現をあえて与えれば、次のように表すこともできよう。

$$G_3(N, t) = G_0(t)G_3(t-t_0) \dots\dots\dots (18)$$

2) Logistic 方程式とその解

式(11) で表される logistic 方程式の解は、よく知られているように、これが非線形1階微分方程式であるにもかかわらず、簡単に次式で表される。

$$\bar{N} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \bar{N}_0}{\bar{N}_0} \exp(-\gamma t)} \dots\dots\dots (19)$$

ここに、 \bar{N}_0 は $t = 0$ のときの N 、すなわち初期値である。

また、よく知られているように、この方程式の差分方程式の挙動は $M_{ay}^{87)}$ によって非線形方程式におけ

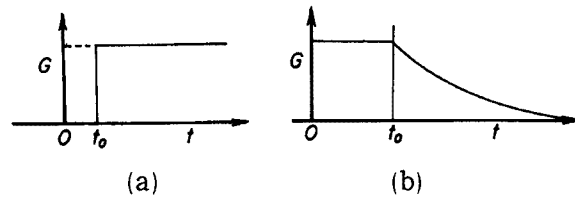


Fig. 85. Schematic presentation of control term in socio change model proposed.

る chaos の発生として詳細に調べられた。それは次のように表される⁸⁷⁾。

$$\bar{N}_{n+1} = a\bar{N}_n(1 - \bar{N}_n) \equiv f(\bar{N}_n) \dots\dots\dots (20)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} \bar{N}_n &= \bar{N}(n\Delta t), \alpha = 1 + \gamma\Delta t \\ \bar{N}(t) &= \frac{K\Delta t N(t)}{\alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

ただし、 Δt は時間間隔であるが、ここでは社会指標の成長期間としよう。

式(19) による理論解は連続関数として単調に増加する時間発展の曲線を示すことは周知の通りである。すなわち、 t が十分小さい間は Malthus⁸⁸⁾ の人口論のいうように増加するが、やがてその増加の傾向は極限值 K の存在によって緩やかとなり、いわゆる S 字形の曲線を示して極限值に終束していく。しかし、対象とする現象が連続でなく、むしろ差分的であるような場合、たとえば世代交替のあるような成長過程においては、式(20) による差分方程式による挙動により始めて説明できるものも少なくない。すなわち、式(20) による表現において、 $a \equiv 1 + \gamma\Delta t$ の値、すなわち成長速度を表す γ および成長期間 Δt のとり方によって、式(20) の表す解の挙動は Fig. 86 に示すように大きく変わることが知られている。 $0 < a < 1$ および $1 < a \leq 2$ の場合は、それぞれ単調に減少および増加するが、 $2 < a \leq 3$ の場合では単調に増加したあと図のように振動する解となり、その振幅は減少する。しかし、 $a > 3$ になると、その振幅はもはや減少せず一定となって、世代またはその整数倍の周期で変動することになる。

ここでは、この logistic 方程式の差分方程式(20) における指標 $a \equiv 1 + \gamma\Delta t$ のうち、 γ は個体数など計測できるものの時間発展によって推定できるので、どうして Δt を定めるか、あるいは何を対象として Δt を決めるべきかについて考察する。ここで対象とする個体数の時間発展のデータは宮下⁸⁹⁾によってまとめられた北海道釧路地方に生息する丹頂鶴の個体数の経年変化である。明治維新直後の北海道開拓時代に多数捕獲され、明治 25 年 (1892 yr AD) によく狩猟規制が施行されたが、すでにほとんど丹頂鶴は生息していなかったといわれる。大正 8 年 (1919 yr AD)、釧路地方に生き残っていた鶴が発見され、有志によって熱心な保護活動が行われ、昭和 27 年 (1952 yr AD) に初めて餌づけに成功して以来、その個体数が増加の傾向に向ったという。その経年変化を Fig. 87 に太い折線 (N と表示してある) で示すが、昭和 34 年 (1959 yr AD) 頃まで単調に増加してきたものが、それ以降その増加傾向が止まり、150 ~ 200 羽前後で変動する傾向をとり、飽和状態を示すようになったようである。宮下⁸⁹⁾はこの事実は明確ではないとして、初期における急激な増加は人為的な保護による食料の支給によるが、その後の停滞は生息場所の空間的制限によるのではないかと述べている。

式(20) における指標 $a = 1 + \gamma\Delta t$ において、まず γ の値は 1959 yr AD までの期間で、初期値を 1935 yr, 1950 yr AD において実測値より若干少なく与えることとし、さらに丹頂鶴の成長期間として成鳥になるまでの期間、3年間を採用することにする。これらの条件を用いて式(20) による logistic の差分方程式を数値積分した結果を Fig. 87 中に N_{e1} および N_{e2} として示し、実測値と比較してある。ただし、これら 2 つの計算条件においては、極限值に相当する K の値も与えなければならなかったため、それらの値とともに一括して Table 3 に示す。この比較から次のことが見出される。まず、 Δt として、たとえば 1 年として、そのほかの数値をできるだけ計算値が実測値に近づくように、試行的に選んだとしても、

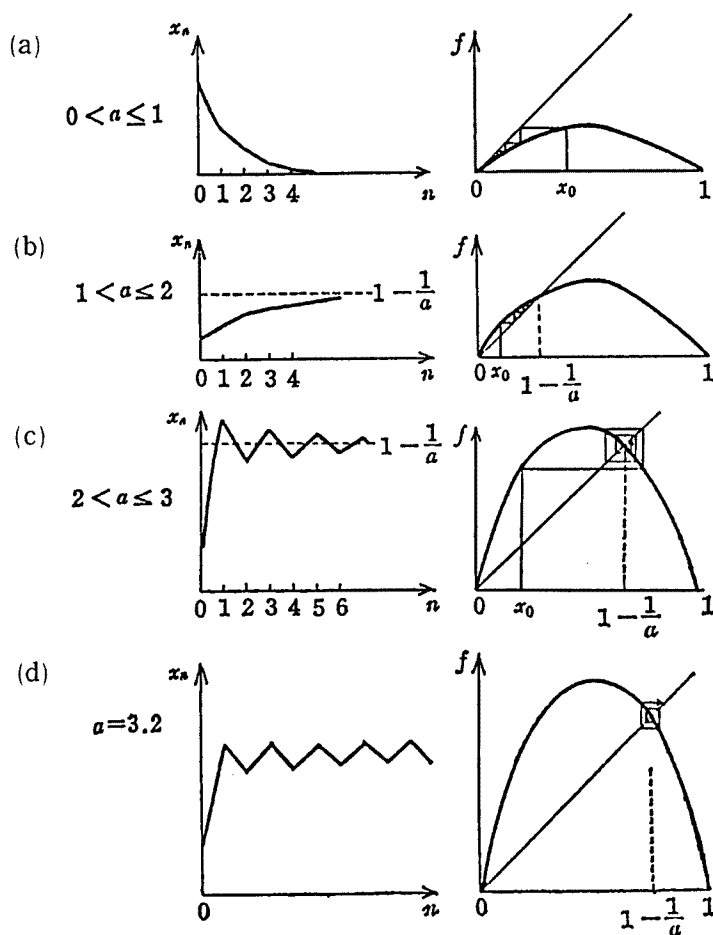


Fig. 86. Classification of possible time evolution solutions for logistic-difference equation (after May, 1976).

Fig. 87 に示したほどの両者の一致は見出されなかったし、また 1959 yr AD 以降の特殊な変動は現れなかった。ただし、それらの諸数値の決定に当り、最小自乗法などの方法は、ここでは適用しなかった。図中に示した 2 つの計算折線について優劣の比較はできないが、いずれの場合も個体数の増加傾向は比較的よく説明できていること、および 1959 yr AD 頃以降の変動も若干位相がずれている点を除けばきわめてよく一致しているといつてよいであろう。ただし、1959 yr AD までの増加傾向を示した期間については、これら 2 つの計算条件において、とくに初期値の与え方に相違があるものと思われる。すなわち、丹頂鶴の保護を開始したとしても、かれら自身が本当にこの保護行為に順応し始めるまでに相当の期間を必要としたであろうから、少なくとも餌づけに成功した 1952 yr AD 以前で初期値を与えることには若干の問題があるかも知れない。これらの点をより解明するためには、1952 yr AD 以降で初期値を与え、最小自乗法によって指標に関係する諸数値を決定するのがよいであろう。

7.3 わが国の人口変動への適用

前述した災害による社会変動のモデルをここではわが国の人口変動へ適用したいのであるが、natural forces, control term などの表示がいまだ十分検討されていないので、logistic の差分方程式を適用して、人口変動がどう説明されるか、あるいはそれら両者の関係から natural forces, control term の存在について考察することにしよう。

Table 3. Characteristic values of logistic evolution difference equation applied to population growth of cranes in Hokkaido and Japanese population growth in Jomon, Yayoi and Edo periods

Applications	Curves predicted	γ	K	K_0	$\alpha=1+\gamma\Delta t$
Population growth of cranes	N_{e1}	1/3yr 0.7	164	12	3.1
	N_{e2}	"	170	"	"
Japanese Population growth		1/20yr			
1) Jomon period	N_{e1}	0.0016	3.33×10^5	1.2×10^5	1.03
	N_{e2}	0.0020	3.5×10^5	"	1.04
2) Yayoi period	N_e	0.007	9×10^6	0.75×10^6	1.14
3) Edo period	N_{e1}	0.031	3.38×10^7	1.6×10^7	1.62
	N_{e2}	0.031	3.26×10^7	"	"

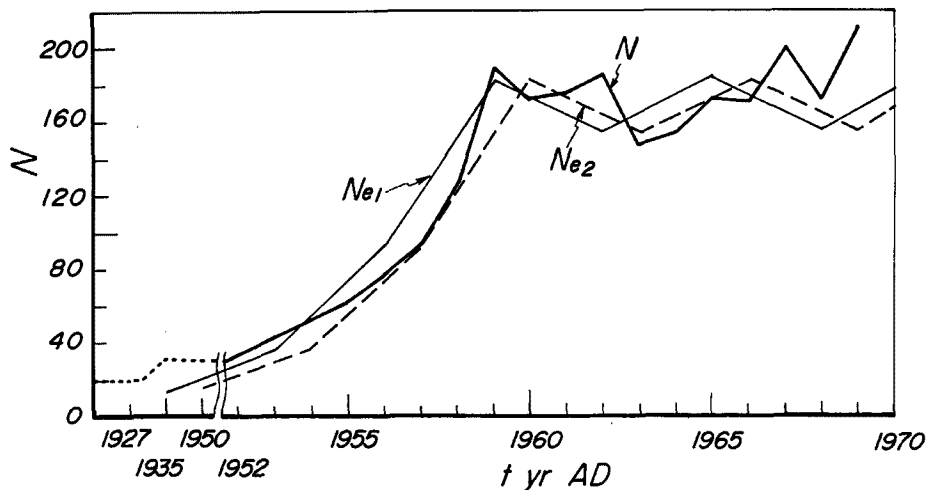
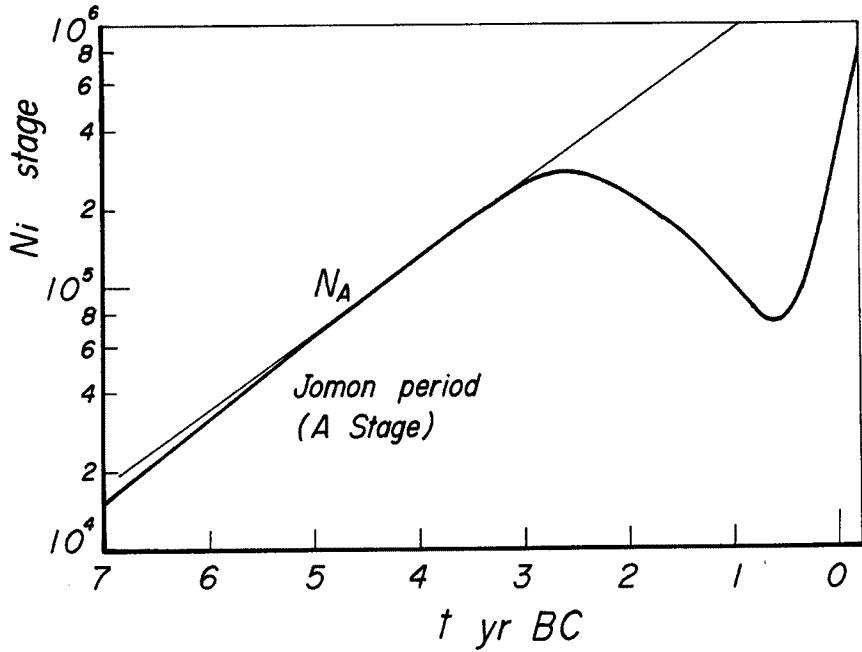


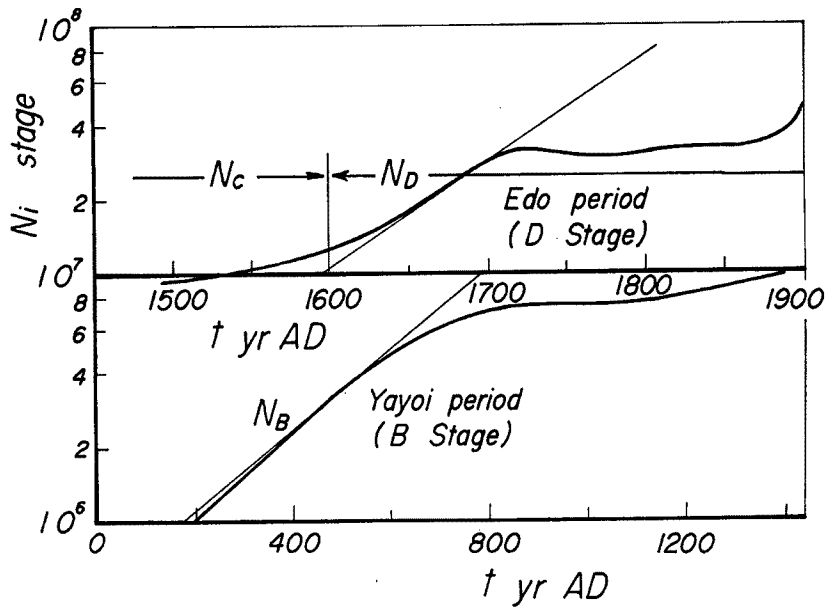
Fig. 87. Changes in number of tancho cranes in Hokkaido in comparison with theoretical ones predicted by logistic evolution difference equation.

まず、対象とするわが国の人口変動はすでに Fig. 1 に示したように、そこには A, B, C, D, および E の各 stage が存在することが明らかになっている。18 世紀末に刊行された Malthus⁸⁸⁾ の名著人口論によれば、人口の力は、人間のための生活資料を生産する地球の力よりも、限りなく大きい。人口は制限されなければ、等比級数的に増大する。生活資料は等差級数的にしか増大しない。食糧と人間の生命に必要としているわれわれの本性の法則によって、これら 2 つの等しくない力の結果が、等しくなるように維持されなければならない。このことは生存することの困難さに起因する人口に対する強力かつ不断に作用する制限を意味する、と述べられている。このことは、またいいかえれば、坪井⁹⁾ が縄文時代に栄えていた大集落が大きな天災によって一度に消滅するようなことがありえたとして、その人口が当時の生産力に対して飽和状態にあるとき、その地域は天災に対して非常に脆いことを示していると述べたことと相補的である。ここでは、このような人口の停滞または減少傾向を示すことのある実態を、人口が増加する傾向を示す期間について、前述した人口の logistic 時間発展の推定結果との比較において考察することにしたい。

Fig. 88(a) はすでに Fig. 1 に示したわが国における約 1 万年間の人口変化において生じた A, B および D stage を対象として片対数紙上に人口の時間発展を示したものである。このうち、A stage は縄文



(a) Jomon period



(b) Yōyoi and Edo periods

Fig. 88. Historical changes in total population in Jomon, Yayoi and Edo periods on log-normal diagram.

時代についての人口変化を示すが、700 yr BC ころよりの人口の増加はきわめて単調であり、その時間発展はこの表示において直線的であり、Malthus⁸⁶⁾ のいう人口増加に近い傾向を示すが、紀元前 3000 yr BC ころよりは、すでに詳細に考察したように著しい減少傾向を示し、やがて弥生時代へと社会構造は移行していったのである。このように考えると、この A stage の社会構造はおおよそ均質な状態であって、弥生時代に入る前まではそれほど大きな変化はなかったものと考えてよいであろう。

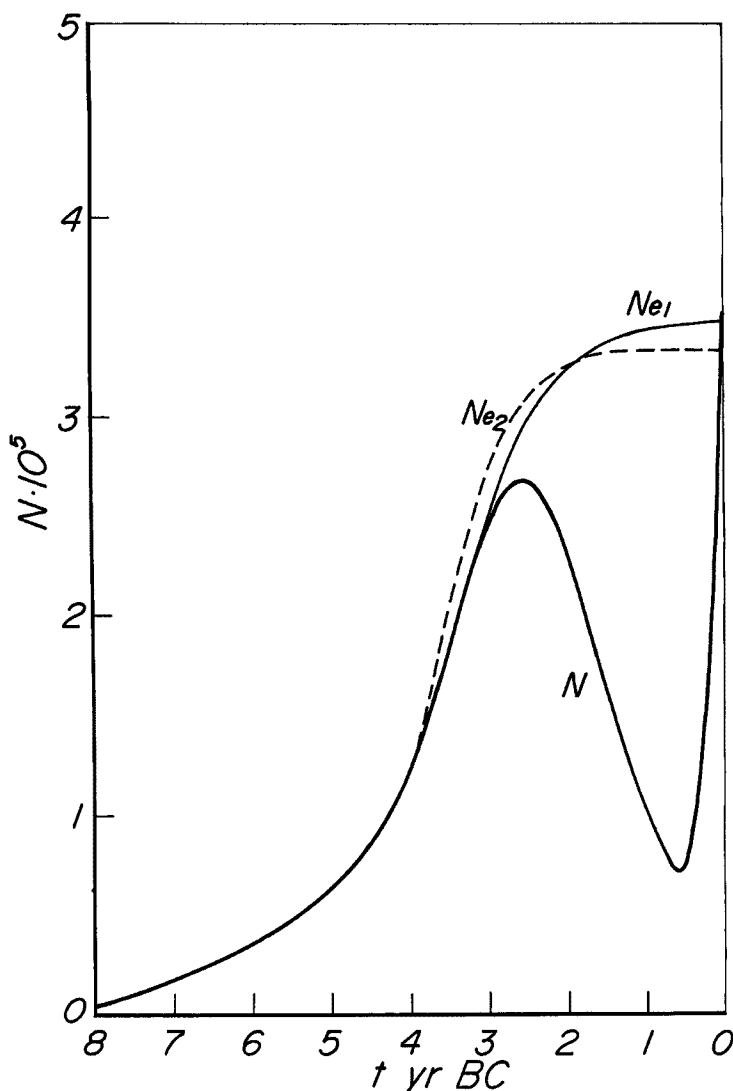


Fig. 89. Changes in total population in Jomon period in comparison with theoretical ones predicted by logistic evolution difference equation (t yr should be by a factor of 10^3).

これに対して、Fig. 88(b) に示した B stage (弥生時代) および D stage (江戸時代) においては、前者はむしろ縄文時代のそれに近い傾向を示すが、人口増加の割合はきわめて著しくなっている。後者については、16 世紀において経験した戦国時代では、社会環境はきわめて変動的であり、人口の時間発展も必ずしもこのような表示において直線的には表されない。しかし、全国統一が成功し、17 世紀に入ると、ようやく社会も安定して人口の時間発展もこの表示で直線的な傾向を示すが、やがて社会環境の不安定が生じ、著しい人口の変動を示している。このような人口の時間発展における単調増加の傾向から、停滞、変動する傾向へと移行する実態を考察する。

1) 縄文時代 (A stage) における人口変動

式(20) で表される logistic の差分方程式を用いて、人口が単調に増加する 3000 yr BC より 6000 yr BC の期間を対象とし、できるだけ理論曲線が人口の増加に一致するように (ただし、諸数値の決定には最小自乗法は用いていない)、かつ当時の生産力に対する極限の人口を仮定し、さらに時間差分 Δt とし

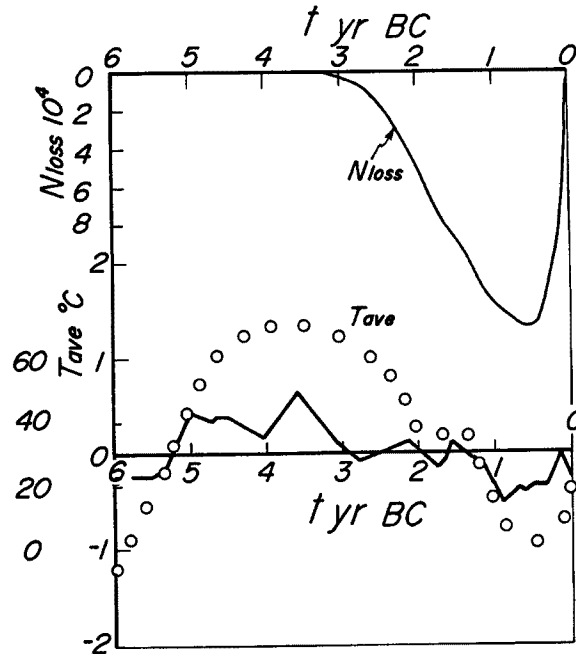


Fig. 90. Changes in difference population between actual and predicted ones in relation to average temperature difference in the northern hemisphere and tree weather change index in Jomon period (t_{yr} should be by a factor of 10^3 and solid line indicates η_N).

て人間の成長期間（これも時代によって大きく変わるかも知れないが、ここでは一定と仮定する）を採用し、これを 20 yr として計算することにした。このようにして推定された式(20) 中に含まれる特性値は **Table 3** に一括して表示したとおりである。

このようにして推定された式(20) による logistic の差分方程式による人口の時間発展と実際のそれとの比較を **Fig. 89** に示す。図中の数値計算の 2 つの曲線は極限人口の仮定が若干相違するだけで、そのほかの数値はほとんど同じであり、また **Table 3** 中にはこの非線形差分方程式の指標 α の値も表示してあるが、この場合それらは **Fig. 87** に示したようにいずれも $1 < \alpha < 2$ の範囲にあり、人口は単調増加の傾向を示すことがわかる。しかし、実際推定された人口の時間発展と比較すると、当然 3000 yr BC 以前における人口の増加傾向はきわめてよく一致するが、それ以降の期間では驚くべきほど大きい人口の減少となっている。この人口の減少分、すなわち一例として数値計算による推定人口としての曲線 N_{e2} から実際に推定された太い実曲線で示された人口 N を差引いた人口の変動分 N_{loss} を改めて図示すると、**Fig. 90** のようになる。この図には **Figs. 9** および **11** にそれぞれ示してある当時の北半球における平均気温の変動値 T_{ave} およびコナラ亜属指標 η_N を示してあるが、これと人口変動分 N_{loss} の経年変化を比較すると次のことが見出される。人口変動がこれらの指標の変化ときわめてよく対応し、3000 yr BC 以降に來襲した気候変動によって寒冷化に向うに従って人口が急激に減少していったことになる。このことについては、すでに当時の社会構造、とくに食糧との関係で詳しく論じたところであるが、その関係をより一層鮮明に理解することができたといつてよいであろう。

2) 弥生時代 (B stage) における人口変動

前述したと同様に、400 yr BC より 500 yr AD の範囲に一致するように式(20) 中の諸数値を選び、かつ極限人口を 9×10^6 程度と推定して計算した結果 N_e と実際の人口 N の時間発展との比較を **Fig. 91** に示す。ここに推定された諸数値は一括して **Table 3** 中表示してある。この当時の水稻技術に依存した生

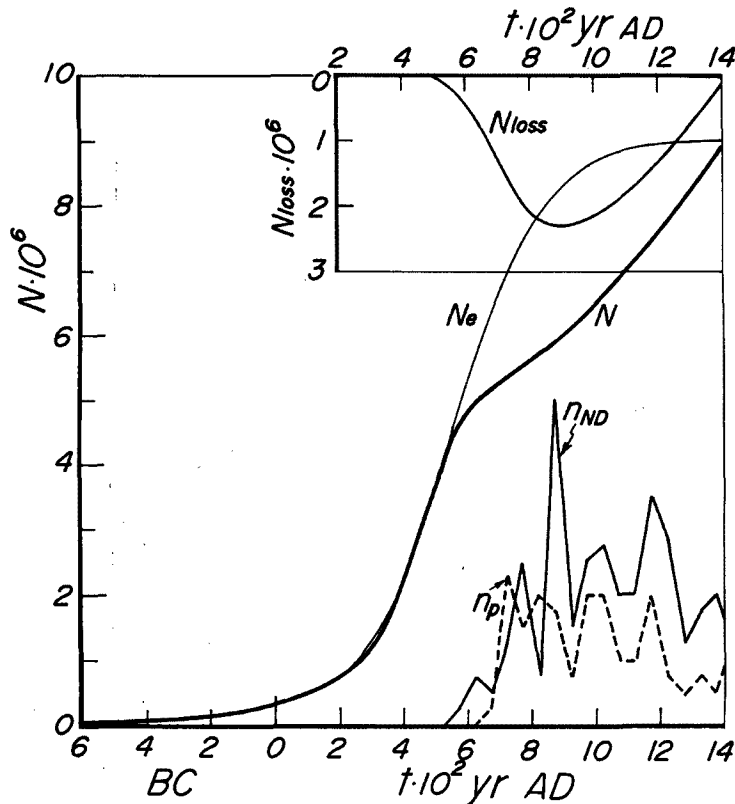


Fig. 91. Changes in total population in Yayoi period in comparison with theoretical one predicted by logistic evolution difference equation, and in difference population between them in relation to changes in occurrence number of natural disasters and plagues.

産力からすれば、それに伴う人口増加とその極限值は大体この程度の値ではないかと想像できそうである。とすれば、この期間における計算した人口と実際の人口との差 N_{loss} を求め、その経年変化を図中に示す。同時に、この時代における自然災害の発生件数 n_{ND} 、疫病の発生件数 n_p の経年変化を示してあるが、これら両者の比較から、次のことが明確にされる。まず、この図において 500 yr AD 以前については自然災害や疫病の発生件数の記録が残されていないので、人口変化との関係は明らかでないが、ここに示した両者の関係からすれば、計算によって推定した人口から実際の人口への減少傾向は明らかに当時多発したといわれる気象災害、とくに干ばつや洪水災害の発生件数やそれに伴う疫病（これは多分、水稲技術とともに大陸から移流されてきたものがあるが）の発生件数と驚くほどよく対応しているといえる。このように、数世紀の間にわたって、気候変動との関係で数多くの自然災害が発生し、疫病の流行、多発とも協同して、当時の社会構造の変化を大きく余儀なくし、それが式(14)で模式的に定義したような natural force potential の増加をもたらしたものと考えてよいであろう。

3) 江戸時代 (D stage) における人口変動

最後に、Fig. 89 に示した 3 つの stages のうちで、さらに水稲技術が進歩し、大規模な新田開発や干拓が著しく推進され、わが国の耕地の大部分が造成されたといわれる江戸時代における人口の増加と引き続いて起った激しい人口の停滞、減少などの実態を前述した 2 つの時代の場合と同様に考察することにしよう。

この場合は、16 世紀における戦国時代を経て、1596 yr AD によりやく全国が統一されたわけで、その

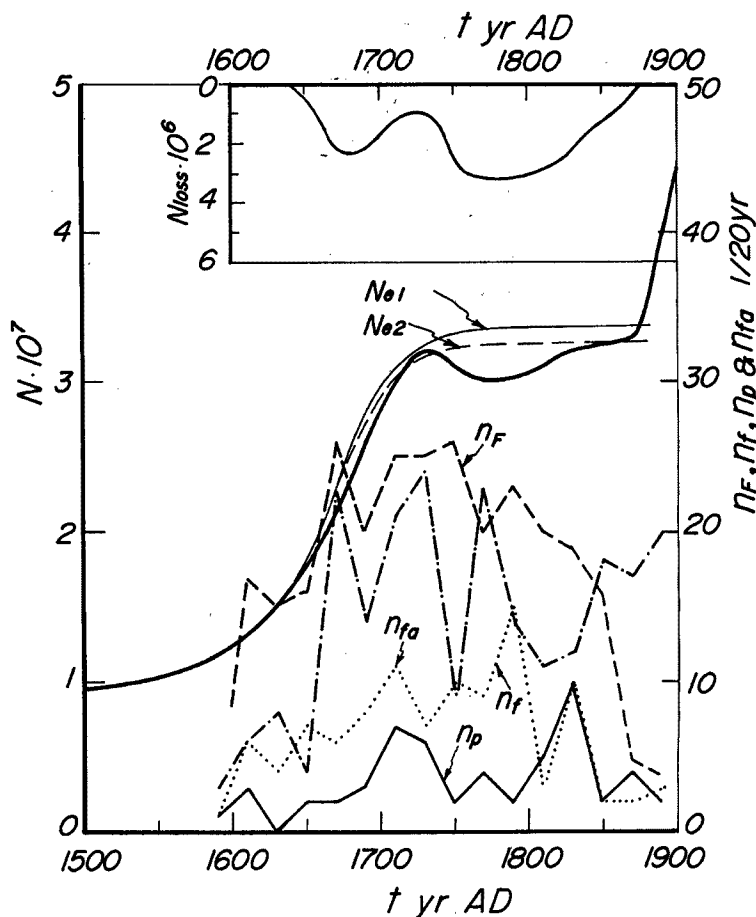


Fig. 92. Changes in total population in Edo period in comparison with theoretical ones predicted by logistic evolution difference equation, and in difference population between them in relation to changes in occurrence number of flood disasters, fires, plagues and farmer disorders.

間の社会構造はかなり複雑に変動したものと考えられるし、また17世紀に入ってから著しい開発の波に洗われたわけであるので、社会構造が必ずしも均質ではなく、急激に成長し、発展した時代と考えられる。したがって、本当はこの時代を1つのlogistic曲線で表現することは若干無理があるように思われるが、ここでは1600 yr AD以降1700 yr ADあたりまでの期間の人口の増加がおおよそ説明できて、19世紀以降である極限的な人口の値に収束するようなものを対象とすることにした。数回の試行でFig. 92に示すような計算曲線 N_{e1} および N_{e2} を得たが、前述した縄文、弥生両時代のように、実際の人口の時間発展の実態を十分説明できるものは得られなかった。このことは、さらに最小自乗法などによって、詳しく適合性を確かめる必要があるかも知れないが、それ以上に前述したような社会の不均質性、とくに急激に成長する時代であるために、logistic方程式中に含まれた諸数値が必ずしもこの対象とした期間において定数ではなく、時代とともに変化しなければならないのかも知れない。確かに、Fig. 92に示した計算曲線と実際の人口増加との比較をFigs. 89および91と比較すると、その適合性が著しく劣っていることがわかるであろう。

けれども、前述した縄文、弥生両時代の場合と同様に、実際の人口変動と計算結果との差 N_{loss} （この場合、図中に示す N_{e1} 曲線を対象として計算した）を求め、その経年変化を同じ図に示しておいた。同時

に、図中には洪水災害の発生件数 n_f 、火災の発生件数 n_r 、疫病の発生件数 n_p 、および一揆の発生件数 n_{fa} などの経年変化も比較のために示してあるが、これらと人口の増減 N_{loss} とを比較すると、次のことがわかる。まず、人口の増減における最初の減少は、前述したように、この時代の人口増加を単一の logistic 曲線では表現しきれないものとして表れたものと理解するか、あるいは 17 世紀中期までの社会構造での人口増加に比べると、これだけ減少傾向にあったと考えるのかによって相違する。図中に示した洪水災害などの発生状況からすれば、17 世紀の中頃以降でそれらが急増しており、社会環境に大きく影響したのであろうと推定される。このように考えると、前述した考察においてはむしろ後者の方がその関係において理解しやすいが、それは logistic 曲線の適合とも大きく関係してしまうはずである。次に、18 世紀中期以降から 19 世紀の中頃に及ぶ期間における著しい人口の減少は、明らかに当時の災害の頻発、とくに飢饉、疫病などの発生とこれに伴う百姓一揆などの頻発として表れた社会環境の著しい荒はいに依存しているといえてよく、それらの発生件数の経年変化と人口の増減とはよく対応しているのに、むしろ驚くほどであるといえてよい。

以上、3つの時代を対象として、社会環境の指標としての人口の増加、変動あるいは停滞の実態について、それぞれ対象とした時代の社会構造が比較的均質であり、1つの logistic 曲線で近似できるものとし、さらにそれらの時代にはそれ相当の極限的な人口が存在するものと仮定して数値計算によって推定された人口の時間発展を比較した。この場合、差分方程式の数値計算における時間間隔は人間の成長期間として 20 yr を時代によって不変として考えて取扱ってきた。実事、この時間間隔のとり方によって、logistic 曲線の適合性には若干相違が現れることも確かめられたが、時代的な変化を与えるほど敏感ではなかったので、すべての場合について一定値として取り扱うことにした。これらの比較を総合して、このような取り扱いに対する批判、とくに 1) 災害による社会変動予測モデルにおける natural forces term および control term の一般表示の可能性、2) 社会構造が経年的に大きく変化する場合への適用性、3) 対象とする時代において果して極限的な社会指標の存在を仮定できるかどうかなど、なお検討すべき問題を残したけれども、災害などによって社会構造が変動し、それがかなりの長期間に及ぶようなことが発生するという歴史的事実をこのような社会変動のモデルの導入によって究明していく可能性を示すことができたのではないかと考えている。人類の歴史的な経験からすれば、このような社会構造の変動、または変容の過程においては、その素因そのものはわれわれ人間それ自身が生育してしまっている場合が多いが、社会変動の発生におけるターゲットとしては多くの場合、あるいは必ずしもいってもよいかも知れないが、気候変動など地球環境の変化に伴う自然災害が必ず発生し、それが頻発し、また継続していることに注目すべきである。そして、必ずそこには行政的な大きな側面が存在し、これらの多くは指導的な行政的な配慮があればかなりその軽減が可能であったように想像される。Malthus⁸⁸⁾ の人口論が現われた 18 世紀末には、すでに人類はこのように多くの経験を経てきたわけであり、かれ自身、人口が増加する原理は、人類の悪徳、あるいは自然の偶発事、一般的法則から生じる部分的害悪が創造という崇高な目的を阻害しないようにするものである、と述べている。

結 語

以上、タイムスケール 300 yr における自然災害、とくに気象災害の変遷と社会環境の変化との関係を江戸時代について考察してきたが、そのうち都市への人口の集中と火災発生との関係およびその変遷について述べ、さらに著しい社会変動としての百姓一揆をはじめとする各種の一揆の発生の変遷とその地域性について考察した。ついで、自然災害の発生とそれに関係した社会環境によって、社会構造がどう変化するか、その指標の時間発展と分散などを定式できる簡単なモデルを自然力のポテンシャルのほか、その制御項の導入を試みて提示した。得られた主な研究成果は次のように要約できる。

1) 都市への人口の集中に伴って、江戸時代に入ると火災という新しい形態の災害が頻発し、それは人口増加とともに増大し、かつ都市に集中して発生した。とくに、江戸においてはその発生に著しい季節変化が存在し、さらに長期的には50～60 yrの明確な周期性が存在し、これが気候変化のそれとも対応していることが見出された。

2) 青木⁴⁰⁾によるわが国における一揆の総合年表を用いて、一揆発生の変遷とその地域性について、米の流通を主体とする社会構造との関係において考察した結果、1) 一揆発生件数には約60 yrの周期性が認められるが、人口の増加とともに著しく増加の傾向を示し、社会階層構造の自由民権運動から明治維新への移行を表すものであったこと、2) そこには著しい地域性があり、一石当りの人口として人口当りの一揆発生件数を表示すると、各藩の米行政、米の流通制度などと大きく関係していたことなどが明らかにされた。

3) 一方、複雑な社会構造をもつ社会が災害などによって変動する場合の確率方程式によるモデルの構築を試み、そのモデルの適用性を調べるに当り、まず社会変動の指標としての人口の変動をとりあげ、若干の考察を行った。すなわち、最も単純な場合を対象として、人口の増加、変動がlogistic方程式に依存する場合とし、縄文、弥生、江戸の各時代における人口の時間発展とその停滞、変動を取り扱い、それが気候変動に伴う災害の発生とそれに伴う社会環境の変化などと比較的良好な対応を示すことを見出すことができた。

最後に、本研究を実施するに当り、史資料の整理にご協力いただいた福井工業大学芝野照夫助教授、logisticモデルの数値計算においてご協力いただいた海岸災害部門の山下隆男助手に厚く謝意を表明するとともに、本研究は文部省科学研究重点領域研究（自然災害）大災害の予測理論の試み、とくに災害による社会変動モデル（No.03201227）による研究成果の一部であることを明記する。なお、研究所の公務を終えて帰宅してからのホームワークとしてこのような研究を始めるようになってから、変らぬ協力を惜しまなかった妻祥子の労に感謝する。

参考文献

- 81) 児玉幸多・荒牧重雄・大石慎三郎：江戸時代の災害と社会，江戸時代の災害，歴史公論，第5巻10号，1979，pp.21-39.
- 82) 西ヶ谷恭弘：城郭，日本史小百科24，(株)近藤出版，1988，382 p.
- 83) 森谷尅久：京都の大火災と町共同体，江戸時代の災害，歴史公論，第5巻10号，1979，pp.44-50.
- 84) Haken, H.: Synergetics, An Introduction, Springer-Verlag, 牧島邦夫，小森尚志訳：協同現象の数理，東海大出版会，1986，409 p.
- 85) Weidlich, W. and G. Haag: Concepts and models of quantitative sociology, Springer-Verlag, 寺本英，重定南奈子訳：社会学の数学モデル，東海大出版会，1986，231 p.
- 86) 山口昌哉：カオス，特に数理生態学に関連して，数理科学，No.183，1978，pp.5-11.
- 87) May, R.M.: Simple mathematical models with very complicated dynamics, Nature, Vol.261, 1976, pp.459-467.
- 88) 永井義雄訳：マルサス人口論，中公文庫，1989，242 p.
- 89) 宮下和喜：絶滅の生態学，思索社，1989，291 p.