



THE JOURNAL OF INNOVATION FUSION

イノベーション融合ジャーナル

2023

Vol.7 No.2 2023 年 1 月
生活支援技術のイノベーション

日本イノベーション融合学会

学会誌 Vol. 7, No. 2

目次

【原著論文】道路状況と交通安全対策の特殊性が日本の電動アシスト自転車の技術進化と変容に与えた影響 -日・欧・中を比較して

疋田 智, 明石 達生 (東京都市大学) 1

【研究ノート】地域防災学習を目的としたスマートフォンによる位置情報ゲームアプリの開発研究

信太洋行, 小見康夫 (東京都市大学) 20

発行年月日 : 2023 年 1 月 6 日

道路状況と交通安全対策の特殊性が日本の電動アシスト自転車の 技術進化と変容に与えた影響 –日・欧・中を比較して

The Difference of Technical Innovation of “Electric Assisted Bicycle” by traffic safety policies between countries - Comparing Japan, Europe, and China

疋田 智・明石 達生

東京都市大学大学院環境情報学研究科

Satoshi HIKITA Tatsuo AKASHI

Tokyo City University, Graduate School of Environmental and Information Studies

この研究は、電動モーターを装着した自転車が、1990年代後半から世界各地で普及・発展を遂げる中、その変容が、日本・欧州・中国で大きく異なる方向へ進んできた事実に着目し、その背後にある社会状況の違いと技術開発との関係进行分析・考察することを目的としている。筆者は電動アシスト自転車すなわち人力の多寡に応じて、その力を電動モーターが補助するという技術が、日本独特の交通事情と法規を背景に生まれ、独自の発展を遂げたことを示した上で、それが各国に影響を与えた後、日本・欧州・中国の3地域でまったく異なった変容を遂げたという事実を明らかにした。その経過を時系列的に辿ることによって、各国の道路環境、生活スタイル、法令制度といった社会状況の違いが、自転車という一見人類共通のニーズを持つかのように思われる実用品についても、技術開発の方向に決定的な違いをもたらすことを実証的に説明した。

The purpose of this research is to analyze the relationship between the differences in social conditions and the technological development of bicycles equipped with electric motors. The author shows that electric assisted bicycles, i.e., a technology in which the electric motor assists the human power according to the amount of human power, were born in Japan under the unique traffic conditions and legal norms, and has been innovated in a unique way. The paper then clarified the fact that after influencing other countries, it underwent completely different transformations as the styles of products in the three regions of Japan, Europe, and China. By tracing the process chronologically, the paper empirically explains that differences in social conditions such as road environments, lifestyles, and legal systems in each country lead to decisive differences in the direction of technological innovation of bicycles which seemed common equipment for all humankind.

Key Words : *Electric assisted bicycle, Regional differences in innovation, Child seat, Bicycle for the elderly, Galapagos innovation*

1. はじめに

1.1 研究の背景

電動アシスト自転車は製品の性質上、乗り手の体力をさほど問題にしないため、その利用者像、活用法は多岐にわたり、特にコロナ禍が蔓延した2020年以降ますます

注目を集めていると言える。しかし、その自転車としての立ち位置は各国で異なり、中でも日本においては一般的に「ママチャリ」と呼ばれる軽快車に電動モーターによるアシストを加えたものが市場の中心となり、特に子供を乗せる用途が市場を牽引するという特異な発展

の仕方をした。

これに比して、欧州では主にスポーツやレジャーに用いる自転車が増え、電動アシスト自転車の中心となり、特に高齢の自転車ホビーユーザーに歓迎された。

一方、最大規模の自転車市場をもつ中華人民共和国（以下「中国」と呼ぶ）では、電動アシストではなく、いわゆる「フル電動」と呼ばれる電動オートバイが普及し、年間 2000 万台以上も「自転車として」売られるという状態を保ってきた（齋藤 2016）¹。これは日本の電動アシスト自転車のキャッチダウン型²という側面を持ちつつ独自の発展を遂げ、現在では世界的に台数ベースで最も普及した電動自転車となっている。

1.2 電動アシスト自転車の定義

日本国における電動アシスト自転車の法令上の定義は、道路交通法第 2 条第 1 項第 11 の 2 号「自転車の定義」において「ペダル又はハンド・クランクを用い、かつ、人の力により運転する二輪以上の車（中略）人の力を補うため原動機を用いるものであつて、内閣府令で定める基準に該当するものを含む」の下線部分に相当するものとされている。この定義は後述する通り日本発の基準であつて、国際的に共通ではない。そこで本研究では電動アシスト自転車の定義を「人力以外の動力を電動モーターユニットの形として装着し、人力（ペダル踏力）に応じてアシスト力を付加するもの」とおくことにする。ただし、この定義によると中国で普及している電動の二輪車は「電動アシスト自転車」には該当しない。しかし本研究は自転車の技術発展の方向が各国の社会制度に強く影響を受ける事実を明らかにすることを主題としているため、中国における技術発展の歴史的事実を外して論ずることは適切ではない。このため本研究ではこれを「電動自転車」と呼び、電動アシスト自転車と適宜区別して扱いつつ、日本及び欧州と比較して論じることとした。

後述する通り、電動アシスト自転車の技術の発端は、1993 年に日本のヤマハ発動機株式会社が、電動

モーターとトルク（踏力）センサーとコントローラーを組み合わせたところに端緒がある³。この「電動アシスト」という駆動方式は、従来型のモペッド（欧）や電動自転車（中）とは一線を画しており（双方、人力と動力の操作がそれぞれ独立しており、手元にスロットルがある）多くの国の法定の技術基準において「運転免許を必要としない自転車」として位置づけられることになった。

2. 研究のテーマおよび先行研究の概要

2.1 研究のテーマと検証方法

本研究は、自転車に電動モーターを装着して人力による駆動をアシストするという技術革新が、製品化されて社会に普及していく過程において、交通事情や法令制度といった社会状況の差異の影響を強く受けた結果であることを明らかにすることを目的としている。特に日本・欧州・中国の 3 地域における発展の方向が大きく異なるものとなったという事実に着目し、それぞれの環境適応に何が大きな役割を果たしたかを分析していく。

研究の方法は、主に 1990 年代以降、電動アシスト自転車の登場と変容の過程、及びこれに関連する法令など技術基準の改定の変遷を、年表形式に整理し、その変容と変遷の理由を解き明かすことを通じて、日欧中の相違点を浮き彫りにする。これにより、特に日本における技術開発と製品改良の発展方向の特異性を、欧州・中国との比較によって明示するとともに、一見、世界共通の日用品に見える自転車であっても、その技術の進化が各国の法令制度や社会状況の影響を強く受けること、またその理由について考察する。

2.2 先行研究の概要

先行研究としては次のようなものがある。

江藤（2016）⁴は、電動アシスト自転車の技術の開発を日本と欧州を比較することによって、その技術進化の個性を規制の有無に求め、市場の大小と国民

性の違いにより自転車の差異が生まれたと説明した。ただ、ここには日欧のイノベーション進化の過程に生まれたニーズの差、特に 2008 年の EU 指令による技術基準の変更以降の電動アシスト自転車のニーズの先鋭化および、自転車大国の中国を含めた日欧中それぞれの社会にあった自転車のとらえ方の差異は述べられていない。

一方、丸川 (2012) ⁵は、キャッチダウン型イノベーションのひとつの典型例として中国における電動自転車の発展を取り上げ、日本式の電動アシスト自転車の機能を削ぎ落とすことで電動自転車が巨大なマーケットを得たことを説明した。中国における自転車産業が特異な発展をするに至った経緯については、陳 (2021) に詳しい⁶。

日本の電動アシスト自転車の開発については、開発者たちの物語である久米 (2013) ⁷などを参考にした。特に明田 (2021) ⁸は主に技術的観点から電動アシスト自転車の進化を網羅的かつ精緻に記した労作である。東 (2012) ⁹は自転車産業がいかにして電動アシストに傾斜していったかをシティサイクルとの関係において述べた。また尾田、江藤 (2019) ¹⁰は技術において先行する企業と後発する企業において、必ずしも先行者が有利とはいえないことをヤマハ発動機とパナソニックの攻防から示した。この構図は日欧中の関係についても類似点があり、示唆するところが多い。

2.3 本論文の構成

本論文は、3 章で日本の電動アシスト自転車の歴史と発展の概要を述べ、4 章でヨーロッパ (EU 加盟) 諸国での電動アシスト自転車の発展の仕方を述べる。そして 5 章において中国での改革開放以前と以後の技術的方向性を述べた上で、法令等の社会規範、道路インフラにおける自転車通行帯の整備状況、人々の経済的豊かさの状況によっては、技術のイノベーションが異相の進化をもたらすことを述べる。最後に 6 章において、それらを総合して自転車にお

ける技術革新と社会制度の関わりと、それぞれがお互いにどう影響を与えあったかを分析する。

3. 日本の電動アシスト自転車の発展と変容

3.1 日本の電動アシスト自転車誕生の背景

最初に、日本のメーカーが電動アシスト自転車の基礎技術を生み出した経緯と、これが道路交通法等の法令基準の整備・改正と呼応しながら発展していった経過を俯瞰する。

表-1 日本の電動アシスト自転車と原付バイクとの関係史

1948 年	ホンダ「バタバタ」の発売(原動機を自転車に着けた最初期の製品)
1953 年	原付免許の登場(届出による許可制)
1975 年	改正道交法で自転車歩道通行を規定
1979 年	エレクトリックサイクル(松下)発売
1986 年	「原付もヘルメット」の改正道交法施行
1988 年	ヤマハ発動機が警察庁などと協議を開始
1991 年	ヤマハ発動機が電動アシスト自転車プロトタイプを発表
1992 年	電動アシスト自転車関連特許、ヤマハ発動機から日欧米へ申請
1993 年	道交法改正で電動アシスト自転車を定義 ヤマハ発動機から最初の電動アシスト自転車 PAS 発売
2008 年	道交法規則の基準改定でアシスト力が向上
2009 年 (	幼児 2 人同乗用自転車の規則緩和 電動アシスト自転車の販売台数が原付を抜き 30 万台を超える
2016 年	電動アシスト自転車の販売台数 50 万台超に
2020 年	電動アシスト自転車の販売台数 70 万台超に

表-1は、日本における電動アシスト自転車の発展と原動機付自転車(以下「原付バイク」)との関係においての主要事項を示した年表である。日本における電動アシスト自転車の技術の誕生において、これを左右することになった社会的枠組みには、次の2つの事項がある。

第1には、運転免許の要・不要の観点で、原付バイクという免許を要する区分が存在したことである。原付バイクとは、50cc 以下又は定格出力 0.6kW 以下の原動機を備えた二輪車を指し、これを運転するには免許が必要である。翻って、人力のみで動く自転車はこれに該当せず、免許不要の軽車両と分類されている¹¹。電動アシスト自転車の技術開発は、免許の要らない区分の製品開発として、自転車に動力の補助を付与することを目指しており、電動モーターを装着しながら原付とは異なる力

テグリーの製品を創設することが必要であった。

第2に、日本特有の事情であるが、自転車の歩道通行が認められていたことであった。これは、1970 年の道路交通法改正で導入された措置であり、当時の交通事故の多発を背景に導入された緊急避難的措置であったが、狭くて危険な道路事情もあって、これ以後、自転車の歩道内通行は国民の間にすっかり定着してしまっていた。

従って、電動アシスト自転車の技術開発も、歩道を通行することを前提に、歩行者と安全に共存可能な技術となることが要求されていた。なお、自転車の歩道通行が法令で認められているのは、日本の特殊性であって、本稿で比較する欧州および中国では自転車の歩道走行は法令上認められていない。

表-2 電動アシスト自転車に関わる代表的な特許・実用新案一覧

	出願日	最終処分	公報番号	発明(考案)の名称	出願人／発明者(考案者)	発明(考案)の内容
1	1968/12/17	特許	特 公 昭 47-032334	電動機付自転車	三洋電機／武田和忠、木谷範昭	ペダルを備えたクランクシャフトにモーターケースを備えつけ、電動モーターで駆動力を伝えるもの。
2	1972/4/5	登録	実 全 昭 49-000640	電動式自転車	興西製作所／中西義雄	電動モーターで発生させた駆動力をローラー状の伝達機により、自転車の前輪もしくは後輪リムに伝達させるもの。
3	1972/4/26	登録	実 全 昭 49-008948 実 公 昭 51-015273	補助エンジン付自転車の車輪	ブリヂストンサイクル工業／大谷喜代司	ペルトをホイールリム部分に直接かけて補助エンジンから駆動力を伝える伝達システム。
4	1972/11/21	拒絶査定	実 全 昭 49-088407	電気自転車駆動制御装置	鈴木自動車工業／大野誉矩	電動モーター駆動機において電磁クラッチを介して直流電流を 2 段スイッチで制御することにより、リレー接点の焼損を防止したもの。
5	1973/6/8	特許	特 開 昭 50-014043 特 公 昭 52-037864	電気駆動式自転車	三ツ葉電機製作所／日野貞夫	駆動ローラーを後輪に複数つけることにより、駆動力の伝達をより効率的にせしめるもの。
6	1979/10/17	未請求取下	特 開 昭 56-057589	電動自転車駆動装置	松下電器産業／藤江武	足踏みペダルによるクランク軸とモーターの出力駆動軸をギヤケース内に配し、クランク軸の回転速度を増幅して出力駆動軸に伝達するようにしたもの。(今で言う「センターモーター式」の始まり)
7	1988/9/10	未請求取下	特 開 平 02-074491	原動機付二輪車	松下電工／北村元治	チェーンリングに組み込んだコイル式センサーで踏力を感知し、感知信号によってパワースイッチを切入することでペダルの踏み込み状態に応じて出力するシステム。
8	1992/9/30	特許	特 開 平 06-107266 特許 2623419	電動モーター付自転車	ヤマハ発動機／高田望	人力駆動系と電気駆動系を併せて設け、人力による踏力の増減変化をトルクセンサーで読み取り、それに対応して電動モータの出力を増減させるもの。

*特許情報プラットフォーム(<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/>)において、1992/9/30(ヤマハ発動機の特許 2623419 の出願日)以前に出願された特許、実用新案を対象に、「電動自転車」(全文)または「電動*駆動*自転車」(全文)の条件で検索してヒットした 726 件のうち、駆動に関わる代表的なものを提示した。

3.2 知的所有権に見る電動アシスト自転車の端緒

3.2.1 日本における「電動アシスト以前」

表-2 は、日本メーカーが獲得した電動モーター付の自転車関係の主な特許および実用新案の一覧である。

この表においてまず注目すべきは、1 から 6 に代表される「電動自転車」の技術である。それぞれの特許および実用新案はいずれも電動モーターをいかにして効率的に駆動輪に伝達するかに注力していることが分かる。6 の松下電工による電動アシスト自転車は実際に「エレクトリックサイクル¹²⁾」という名前で 1979 年に製品化されて

いるが、あくまで電動モーターによる原付バイクであり、ナンバープレートの装着と免許の保持が義務づけられており、普及にはいたらなかった。

3.2.2 日本メーカーによる「電動アシスト」基礎技術

電動モーター付きの自転車が「電動アシスト自転車」として世間に認められたのは、ヤマハ発動機による表-2 の 8 からである。これは電動アシスト自転車にトルクセンサー、スピードセンサー、コントローラーの 3 つを採用し、ペダルを踏む人力に応じて電動モーターによるアシスト

力をもたらす根幹的技術に対して認められたものである。ヤマハ発動機は同技術で日欧米における特許認定を受けており¹³、この技術革新が世界の電動アシスト自転車(=免許不要のもの)のスタート地点を決定づけたことが推測できる。

ここで興味深いのは、その5年前に日本の松下電工が表-2の7を出願していることで、この概要は、コイル状の機械式センサーに応じてモーターのスイッチが細かくオンオフを繰り返すという踏力センシング技術であった。結果としてこれは製品化し得なかったが、ほぼ同時期に「踏力に応じて電動アシスト力が働く」という技術をヤマハと松下という日本メーカーが実用化を目指していたというのは偶然ではない。ヤマハ発動機による技術開発の経緯と、警察庁及び運輸省との折衝経緯については、久米(2013)のルポルタージュに当時の様子が生々しく記されているとともに、尾田・江藤(2019)も当時の運輸省の担当者にヒアリングした内容を記述している。これらを辿ると、協議の焦点となったのは、電動モーターを装着しながらも、「あくまで人力をアシストする」という範囲に収めることのできる技術の内容とは何か、ということであった。自転車カテゴリーを目指したのである。このことが、トルクセンサーとスピードセンサー、それに応じてアシスト力を付加するコントローラーという、電動アシスト自転車の根幹となる技術を生んだといえる。

3.3 ヘルメット忌避と自転車認定の二ーズ

既往研究には指摘がないが、電動アシスト自転車を生むこととなった理由のひとつに、ヘルメットの忌避という要因があったことも推察される。これは1986年の道路交通法の改正¹⁴で原付にもヘルメットの着用が義務付けられた翌年、原付の販売台数が落ち込んだことが、ひとつの根拠となっている¹⁵。

表-3は、自転車乗車時のヘルメット着用率を、2020年、自転車ヘルメット委員会(馬場誠事務局長)が性別・年齢別に調査したものである。

自転車乗車者の装着率は男性を含めてそもそも低い。特に女性の低さについては髪型が崩れることを気に

していることと推測されている¹⁶。ヘルメット着用義務の有無が女性の利用率が高い原付の需要減に関係し、逆に電動アシスト自転車の販売増加に寄与したことが推測できる。

表-3 13-89歳のヘルメット着用率(N=9,261人)

	男性	女性	合計
13～19歳	20.3%	17.1% (対男性比▲3.2%)	18.8%
20～29歳	11.5%	5.9% (同▲5.6%)	9.1%
30～39歳	8.8%	6.6% (同▲2.2%)	7.9%
40～49歳	7.6%	4.0% (同▲3.6%)	5.9%
50～59歳	7.6%	2.6% (同▲5.0%)	5.1%
60～69歳	8.4%	2.7% (同▲5.7%)	5.5%
70～79歳	5.9%	2.1% (同▲3.8%)	4.2%
80～89歳	5.1%	4.3% (同▲0.8%)	4.8%
合計 (13～89歳)	9.2%	4.9% (同▲4.3%)	7.2%

*自転車ヘルメット委員会のデータを元に筆者作成(世代間に男女比のばらつきがあるため、男女の平均値と合計値は必ずしも一致しない)

頭部の損傷が自転車乗車中(ヘルメット非着用)の事故死因58%に達するなど¹⁷、本来ヘルメットは事故被害の低減に資するものであることは言を俟たないが、現実として着用への忌避感強く、ヤマハ発動機はヘルメット不要のレギュレーションを得ることを目標とした。それゆえ電動アシスト自転車をあくまで「自転車カテゴリー」にするべく関係省庁にロビイングを行った。その結果、運輸省(当時)と警察庁は(1)速度が出すぎないこと(2)容易に改造できないこと(3)安全であることを条件に1993年に自転車の認定をした。こうして電動アシスト自転車は自転車として認可され、当初の内閣府令の技術基準では、アシスト率(モーターと人力のパワー比率)が人力と同等以下の1対1、アシスト力は15km/hから漸減し24km/hで0になるものとなった。

3.4 電動アシスト自転車の誕生

道路交通法に基づく技術基準の制定を受けて、世界初の電動アシスト自転車として、1993年にヤマハPASが発売された。鉛蓄電池を持ち、巡航距離はフル充電で20km、車重は31kg、標準小売価格14万9000円と、現在から見るとスペックと価格が釣り合わないものではあつ

たが、順調に売れ続け、他社はこれを追うことになった。 ベーシオン大賞の「経済産業大臣賞」を得ている。

なお初代 PAS は後の 2020 年に第 8 回技術経営・イノ

表-4 日本の電動アシスト自転車の進化に関する経緯

	電動アシスト自転車本体について	電動アシスト自転車関連法、行政の動きなど
1998 年(平成 10 年)	●5 月 ナショナル自転車「ドラクル」がニッケル水素電池を採用	
1999 年(平成 11 年)		●自動二輪(オートバイ)に対する排ガス規制
2000 年(平成 12 年)	●磁歪式トルクセンサーの登場	
2001 年(平成 13 年)		●警察庁による電動アシスト自転車安全基準制定(走行性能、耐水性、耐振性)
2002 年(平成 14 年)	●5 月 ナショナル自転車「デラックス ViVi」がリチウムイオン電池を採用	自転車産業振興協会の補助事業活動「安全性に関する調査研究委員会」
2003 年(平成 15 年)	●三洋「エナクル」ハブモーター駆動方式を前輪駆動に変更し、回生充電を可能にした(3 月) ●PAS のリチウムイオンバッテリー版発売(3 月)→これ以降ほとんどすべてのバッテリーがリチウムイオンに。	●ITARDA インフォメーション No.46「自転車の事故」で、幼児同乗の転倒事故などの危険性の指摘
2004 年(平成 16 年)		●9 月に自転車協会の BAA 制度がスタート
2005 年(平成 17 年)		●12 月に日本交通管理技術協会主催で一般ユーザ(30 歳代女性及び中年男女)対象の実証実験が行われた。→結果は翌年。
2006 年(平成 18 年)		●実証実験の結果(長崎、横浜、瀬戸内などの急坂で「電動アシスト自転車ではアシストが弱くて登れない」というユーザからの要望・現状のパワーは小さすぎるとの実験結果) → パワー問題は「アシスト率を高く」が業界のポリシーに ●公益財団法人・日本交通管理技術協会『自転車に同乗する幼児の安全対策及び乗車定員に関する調査研究報告書』 →原則として 1 名のみの同乗を認める現行制度の維持を基本とすることが妥当」とする。
2007 年(平成 19 年)		●警察庁内に設けられた『自転車の安全な通行方法等に関する検討懇談会』→「幼児用座席に幼児を乗せる場合は 1 人までであることを教則に明示すべき」との提言。→ 「幼児同乗は 1 名」が行政のポリシーに ● 少子化社会対策会議において「子どもと家族を応援する日本」重点戦略が取りまとめられる(内閣府)。
2008 年(平成 20 年)	● 12 月 現行のアシスト率に、 改正の趣旨は、「発進時や低速時においてより安定的な走行を可能にするとともに、登坂走行を容易にし、踏力の弱い方でも自転車の安全な利用を可能にしようとするもの。」(平成 20 年 10 月 2 日 警察庁交通局『「道路交通法施行規則の一部を改正する内閣府令案』について」	↓ ●警察庁による「6 歳児未満の幼児を持つ親 3000 人を対象に行ったアンケート調査」で「 幼児 2 人同乗を認めるべき 」の意見が 3 割を超える(ここで大反転)。 → 自転車社会学会「幼児 2 人同乗用自転車」検討委員会経過報告書(2009)に詳しい内容。 ●4 月「幼児 2 人同乗用自転車検討委員会」を立ち上げる。(警察庁) ●同年 7 月中間報告(安全性の 6 要件、強度、制動性能、駐輪時の安定性、フレーム等の剛性、走行中のハンドル操作に影響する振動の防止、発進時などの操作性、安定性をまとめた) →三枝繁雄(製品安全協会)『自転車の製品安全確保に向けて』特集乗り物の事故と安全、生活安全ジャーナル第 7 号独立行政法人製品評価技術基盤機構 に詳しい。
2009 年(平成 21 年)	●4 月、自転車産業振興協会が「安全性に配慮した幼児 2 人同乗用自転車開発委員会」を設け、要件にあう幼児 2 人同乗用自転車の試作車を公募。	●警察庁交通企画課「 幼児 2 人同乗用自転車 」検討委員会のとりまとめ結果について → 幼児 2 人同乗用自転車については、要件等を受けて自転車分野の安全性確保対策として評価されている自主的マーク制度(SG、BAA 等)による認証が早期に実施されることを期待し、その普及に努めることと規定。 ●「2008 年中間報告の 6 要件」の評価方法及び基準などを満たす幼児 2 人同乗自転車に関する都道府県公安委員会規則の改正が発表施行される。(2009 年 7 月) → 7 月の道路交通法規則の一部改正により、安全基準を満たす自転車であれば、幼児(6 歳未満)を自転車の前と後ろの座席に乗せる三人乗りが認められることに。 ●JIS 規格 JIS D 9115 電動アシスト自転車設計指針が出る。
2010 年(平成 22 年)	● 2 月、自転車産業振興協会「安全性に配慮した幼児 2 人同乗用自転車」試作車発表	●7 月に、上記 6 要件の評価方法及び基準などを満たす幼児 2 人同乗自転車に関する都道府県公安委員会規則の改正が公布・施行 → これを受けて、BAA 幼児 2 人同乗基準を各都道府県で採用 ●電動アシスト自転車安全基準改正 (一充電あたり走行距離の表示方法および試験方法、ほか、環境負荷物質に関する規定など)
2011 年(平成 23 年)		●東日本大震災で、大量の帰宅難民が発生し、自転車に注目が集まる。
2012 年(平成 24 年)	●大手 3 社(ヤマハ発動機、ブリヂストン、パナソニック)の前後 20 インチ新型車発表、3 社の寡占固まる。	
2013 年(平成 25 年)	●日本の電動アシスト自転車の平均購買価格が劇的に上がる。	

3.5 電動アシスト自転車の進化の経緯

の動向を年表にしたものである。

表-4 は、電動アシスト自転車の成立後、自転車本体と、
電動アシスト自転車に関連する技術革新の経緯、行政

これを見ると、後述するように「電動アシスト率の増強
およびバッテリー高性能化(本体の進化)」と「子乗せ人

数の規制緩和(規制の見直し)」というハードとソフトの両面が電動アシスト自転車の普及と変容に大きくかかわっていることが分かる。

3.5.1 アシスト率の見直しとバッテリー高性能化

表-4にある通り、電動アシスト自転車の技術基準は2008年に大きく変更された。具体的には、アシスト率の上限が従来の1対1から2対1に引き上げられるとともに、10km/hからアシスト率を漸減させ、24km/hで0になるように改正された(図-1)。

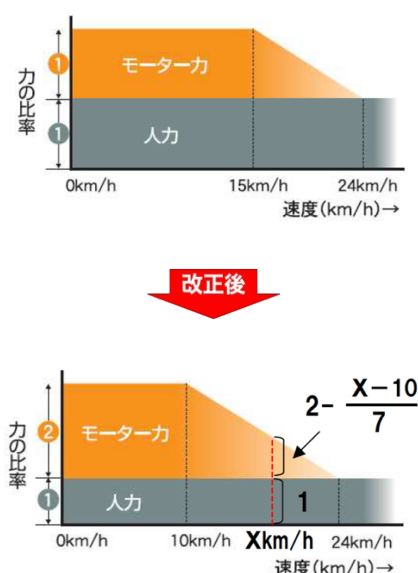


図-1 電動アシスト自転車アシスト率の見直し
(改正後は道路交通法施行規則第一条の3に基づく)

これにより低速域でのアシスト率が強化され、上り坂を登るに際してスピードを下げさえすれば楽に登れるというパワーを得ることになった。またポジティブな副作用として低速域のアシスト率が高くなることで、主に高齢者によるふらつきが減る可能性があるとの研究結果も出た¹⁸。

この規制見直しは2005年12月の日本交通管理技術協会による実証実験¹⁹でも顕著に出たように、長崎、横浜、瀬戸内など坂の多い町では「電動アシスト自転車ではアシスト力が弱くて登れない」というユーザからの要望があったことから、業界が警察庁に陳情をしていたものであった。また同じことは全国に2000以上あるといわれるニュータウンについ

ても同様で、特に都市近郊では丘陵地を造成して作った例が多く²⁰、これらのニュータウンではスーパーマーケットなどが麓にありがちだったため買い物袋をかごに載せて自転車で坂を楽に上りたいというニーズがあったのである。

さらにこの時期、アシスト力の強化のみならず、バッテリーの進化という大きな動きがあった。特に2002年からのリチウムイオン電池の登場と採用は、バッテリーのハイパワー化と大容量化に貢献した。このことは電動アシスト自転車に「ホイールが小さくても実用に耐える」という新たな機能をもたらした²¹、子乗せ自転車の普及に貢献した。

3.5.2 子乗せ自転車規制の見直し

日本の電動アシスト自転車の普及と進化の方向性に大きく寄与したもう1つのファクターは「子乗せ」のあり方についての警察庁の方針転換だった。表-4から分かる通り、2001年に電動アシスト自転車の安全基準が改めて定められた後、毎年のように自転車、なかでも幼児同乗自転車の危険性が問題提起されている。主立った該当部分を取り上げると次のようなものがある。

- ・2003年 ITARDAにより幼児同乗の自転車の転倒事故等の危険性が指摘される。
- ・2006年 日本交通管理技術協会による『自転車に同乗する幼児の安全対策及び乗車定員に関する調査研究報告書』の発表。
- ・2007年 警察庁内に設けられた『自転車の安全な通行方法等に関する検討懇談会』で「幼児用座席に幼児を乗せる場合は1人までであることを教則に明示すべき」との提言がなされる。

これらの事実から、2007年まで警察庁は子乗せ自転車における幼児の同乗は1人までとするという方針をいったんは固めたと推測できる。

ところが、この直後、内閣府少子化社会対策会議において「子どもと家族を応援する日本」重点戦略が取りまとめられた²²。これは第一次安倍政権の重

点施策のひとつであり、少子化を食い止めるために親の就労と子どもの育成の両立のため子育て世帯の利便性を高めるべきという内容が含まれていた。

時を同じくするように、警察庁は「6 歳児未満の幼児を持つ親 3000 人を対象とするアンケート調査」を行い「幼児 2 人同乗を認めるべき」の意見が 3 割を超えるという結果を得た。

ここにおいて警察庁は従来型の子乗せ規制について大方針転換を行ったものと推察できる。警察庁は翌 2008 年の 4 月、幼児 2 人同乗自転車検討委員会を立ち上げた。そして同年 7 月の中間報告で、安全性の 6 要件（強度、制動性能、駐輪時の安定性、フレーム等の剛性、走行中の振動防止、発進時の安定性）をまとめた²³。

そして、翌 2009 年に自転車製品自体が安全性を満たすなら、幼児二人を同乗させることを実質的に容認するという方針を決定し、その安全性の担保として、自転車協会に「BAA 幼児 2 人同乗基準適合車」の要件を示し検査と認定を委託したのである²⁴。

3.5.3 子乗せ電動アシスト自転車の普及

これら人力に対するモーターのアシスト力の大幅な向上と、幼児 2 人同乗用自転車に関する規制緩和は、2008 年と 2009 年に相次いで実施され、技術革新が新製品に反映されていった。

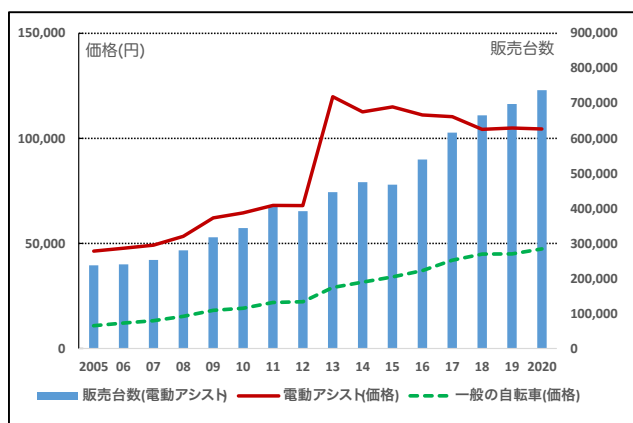


図-2 電動アシスト自転車の国内販売台数と1台当たりの価格の推移
(注:経済産業省生産動態統計より筆者作成)

一方、技術革新の採用はコスト高を伴い、2013 年

これに伴う大幅値上げにメーカー各社が踏み切った。しかし、これは同時に顧客に高い満足を与えることにも繋がり、特に子育て中のユーザーには、好評を以て受け止められたと言える。このことは売値の高額化にもかかわらず、電動アシスト自転車が売れ続けたことから推測できる（図-2）。

安全および製品クオリティに関する厳しい規制ゆえ、国産大手三社の寡占状態がほぼ固まり、その形態も 20 インチの小径ホイールが主流となった（図-3）。小径化によって子供の乗降位置が下がり、子供の乗降が楽で安全になったが、その反面、価格も 12 万円を超える高額なものが主流となった。



図-3 代表的な前後 20 インチ幼児 2 人同乗用適合自転車
ブリヂストン社製“ピッケパワー”

4. 欧州における電動アシスト自転車の発展と変容

ここでは、欧州における電動アシスト自転車の発展と変容の過程を整理するとともに、日本との相違点を明らかにする。なお、欧州は多くの国々から構成されているが、EU の市場統合によって、製品にかかる技術基準が EU 指令 (Directive) として定められた場合、加盟各国はこれを受け入れる義務があることから、本研究では EU を一体的な製品市場とみなして論を進めることとする。

4.1 欧州の電動アシスト自転車誕生と環境問題

元来の欧州市場にはモペッド (Moped) と呼ばれるペダル付きオートバイが存在した²⁵。これは非力な

小型内燃エンジンを載せた軽量オートバイであり、元来のペダルはエンジンスターターとしての役目を果たしていたが、やがて急坂を登るときに速度低下やエンストを防ぐために人力を援用するという、いわば「逆・アシスト車」とも呼ぶべきものになっていた。



図-4 トルクセンサーを持たない“Pedelec”
(ドイツ Diamant 社の City-Blitz 1992・谷田貝一男氏提供)

その状況の中、1992 年前後に “Pedelec” が普及し

始める。これは電動モーターとペダルを併せ持つ自転車だったが、当初ペダル踏力のセンサーを持たない図-4 のようなものであり、ペダル駆動と独立したスロットルも存在した。つまり内燃エンジンが電動モーターに置き換わったもの、いわば“電動モペッド”というべきものだったといえる²⁶。

これらの電動モペッドが、内燃エンジンから電動モーターを志向するようになった理由は、環境問題にあったと推察できる。表-5 は、欧州の電動モーターを持つ自転車が内燃エンジンから電動モーターを持つに至った理由を中心にリストアップした年表である。1970 年の後半から酸性雨（後にオゾン層破壊も）を理由として、ウィーン条約、ヘルシンキ議定書、ソフィア議定書と、矢継ぎ早に国際的環境ポリシーが策定され、交通システムからの排気ガスが問題視されていったことが分かる。

表-5 欧州(一部米州)の電動モーター付自転車の進化に関する経緯

1960 年代以前	●1895 年 オグデン・ボルトンの「電動自転車」が米国特許 ●1910 年頃 最初のモペッド「ダグラス」など登場。当初のオートバイのエンジンスターが「走ってジャンプ」型だったのが、モペッドの登場により静止状態からペダルを回してスタートできるようになった。またライトペダルアシスタンス(LPA)は上り坂に役立った。
1970 年代	●1977 年 新たな道路交通に関する条約(ウィーン条約)の発効。50cc を超えない内燃機関を搭載した二輪車または三輪車を検討。 ●1979 年 長距離越境大気汚染条約(ウィーン条約)が国連欧州経済委員会(UNECE)において採択された
1980 年代	●1983 年 ウィーン条約(大気汚染)発効。この条約では加盟各国に越境大気汚染防止のための政策を求めるとともに、硫黄などの排出防止技術の開発、酸性雨影響の研究の推進、国際協力の実施、酸性雨モニタリングの実施、情報交換の推進、などが規定された。 ●1987 年 ヘルシンキ議定書 ウィーン条約に基づき、国連欧州経済委員会に属する 21 カ国が 1985 年に署名し、1987 年 9 月に発効したものの。この議定書では、各国が 1980 年時点の硫黄の排出量の最低限 30%を 1993 年までに削減することを定めている。
1991 年(平成 3 年)	●ソフィア議定書 ウィーン条約に基づき、国連欧州経済委員会に属する 25 カ国が 1988 年に署名し、1991 年 2 月に発効した。この議定書では、1994 年までに窒素酸化物の排出量を 1987 年時点の排出量に凍結することを定めている。同時に新規の施設と自動車に対しては経済的に使用可能な最良の技術に基づく排出基準を適用しなければならないことを規定している。また、無鉛ガソリンの十分な供給も義務づけている。また、スイスを中心とした西欧 12 カ国では、1989 年から 10 年間で窒素酸化物の排出量を 30%削減することを宣言している。
1992 年(平成 5 年)	●Diamant 社の“City Blitz”など スイス、ドイツなどでいくつかの電動自転車が販売される。(スロットル付、前輪ローラー駆動、ニッカド電池採用) ●EU 指令 Directive 92/61/EEC of 30 June 1992
1995 年(平成 7 年)	●12 月 ヤマハ米国特許認定(発効は 92 年～) USA1005474148
1996 年(平成 8 年)	●7 月 ヤマハ EU 特許認定(発効は 92 年～) EPB1000590674
2002 年(平成 14 年)	●EU 指令(EU として免許の有無、電動アシスト自転車の共通規格を決定する) Directive 2002/24/EC of 18 March 2002 →Pedelec(欧州式電動アシスト自転車)の規定が決まる。
2003 年(平成 15 年)	●3 月 ヤマハ EU 特許(92 年～)EPB1000798205
2009 年(平成 21 年)	●欧州規格 EN15194 Electrically Power Assisted Cycles - EPAC Bicycles が制定される。
2013 年(平成 25 年)	●EU による Regulation No.168/2013 採択 → 通常の Pedelec 以外のハイパワーもの(S-Pedelec)はすべて型式認定を得て、モペッドと同じ扱いにすることが決定される。 → ただし、e-MTB にはこれが当てはまらない、とされたため、いわゆる“e-bike”はこれ以降、すべて MTB(風)になった。
2017 年(平成 29 年)	●欧州発の“e-bike”が本格的に日本上陸。

4.2 欧州の電動アシスト自転車誕生の文化的側面

一方「自転車」に関連する文化的側面については 100 年以上続く世界的自転車レース “ツール・ド・フランス” に象徴されるように、スポーツ文化として華やかなものがあつた。文化としての自転車は、

日本や中国、あるいは米州などと較べても存在感が大きく、フランスやイタリアでは自転車スポーツが根付いており、一方、オランダ、ドイツ、デンマークなどでは都市交通としての自転車活用が、ホビー、健康などを背景に、1990 年代から他地域を凌駕する

興隆を見せていた²⁷。

国による違いもあるが、もともと自転車をスポーツ、文化の面からとらえる風土があったことから、欧州の電動アシスト自転車は、趣味のサイクリングに応用される傾向も強かった(図-5)。たとえばTim Jonesら(2016)²⁸によると、オランダと英国で電動アシスト自転車を購入した人へのアンケートで最も一般的な理由は、本来サイクリングなどを趣味にしていた人たちが、加齢により身体能力の低下を感じたことだったという。



図-5 典型的な欧州型電動アシストクロスバイク
(GIANT 社“EXPLORER E+3”・2020・筆者撮影)

一方、Elliot Fishman ら (2016)²⁹はこの10年を振り返るなかで欧州市場の今後について「欧州全般、中でもオランダとデンマークなどの国々では自転車専用道などのインフラが整備されている（このことがクルマとの接触の危険を低下させ、自転車でのハイスピード移動を自転車文化の一部となし得た）。それゆえ電動自転車がいっそう多くのシェアを取るであろう」と予測している。

4.3 電動アシスト方式の分類とEUの技術基準

欧州の現行の技術基準は「EU 指令 2002/24/EC 自動二輪車・三輪車の形式認証制度に関する規制³⁰」である。ここでは、型式認証および運転免許が不要な車両として、次の3要件を求めている。

- (1)ペダルを回したときだけアシストが働くこと
- (2)速度制限 (25km/h 以下)
- (3)モーター出力 (250W 以下)

ここに至る経緯を辿ると、4.1 と 4.2 の風土を持つ欧州では、1990 年代の市場に2つの電動アシスト方式が存在した。明田 (2021) によると1つはペダル動作に関係なく電動モーターで走る“E-bike”であり、もう1つはモーター駆動がペダリングの補助的役割を果たす前述の“Pedelec”だった。1990 年代まで、EU 各国はこの2種類を独自に「自転車扱い」あるいは「モペッド扱い」などと決めており、同じ“Pedelec”にもスロットルの有無に差があった。

そこで次第に EU として統一する必要が生じ、欧州議会は、2002 年に至り「EU 指令 2002/24/EC」を採択したのである。



図-6 欧州の電動アシスト率イメージ図(筆者作成)

上述の通り、このEU指令における運転免許が不要な電動アシスト自転車の技術要件は、(1)ペダルとアシストの連動性、(2)速度制限、(3)モーター出力、の3項目だけであり、日本のように漸減率などを細かく定めたものではない。したがって図-6のように上記の基準を満たしさえすれば、実質的にフル電動自転車のようなアシスト設定もできた³¹。

この仕様のあり方は精緻なトルクセンサーを必ずしも必要とせず、速度センサーやペダルの周回センサーなどの安価なパーツで安価に作ることが可能だったが、ヤマハの欧州特許は2003年にこれらの簡易センシングにも特許範囲を拡げており、EPB0798205 特許として認められている³²。

ここにおいて欧州型の電動アシスト自転車（無免許可）の規格が定まり、日本とは若干の差はあるも

の電動アシスト自転車と呼ぶべきものとなった。こうして欧州型の電動アシスト自転車の右ハンドルからスロットルがなくなったのである。

5. 中国における電動自転車の発展と変容

ここでは、中国における技術発展の経緯を整理するとともに、その理由を考察する。これを通じて自転車の技術進化の方向がその国の法令制度や社会状況の影響を強く受ける事実をさらに明確化する。

5.1 中国における電動自転車の技術基準

中国では、道路交通安全法により、車両が「機動車」と「非機動車」に大別されている。機動車とは一般に自動車やオートバイを指し、車道の通行が義務付けられている。今日普及している電動自転車は非機動車に属するが、通行区分は車道又は非機動車レーン（いわゆる自転車レーン）とされ、歩道の通行は認められていない。

非機動車の種別に分類される電動自転車の技術基準は国家基準で定められており、現行の基準は2018年に改定されたGB17761-2018である（“GB”はGuo jia Biao zhunの略で中国国家標準規格を指す。以下同様）。ここでは、最高速度25km/h以下、車体重量（バッテリー含む）55kg以下、モーター出力400W以下、ペダルが付いており、30分間に5km以上のペダル走行が可能であることなど多くの技術要件が定められており、現在では全項目が適合義務とされている。

現行基準への改定以前の基準（GB17761-1999）では、最高速度が20km/h、車体重量が40kg以下とされていたが、後述のように必ずしも守られていなかった。2018年の改定は、一見規制緩和のように見えるが、必須項目を増やし、審査を厳格化したことから、実際上は規制強化の作用となっている。

なお、これを上回る規格のものは、電動軽便オートバイ（最高時速50km以下）または電動オートバイ（最高時速の制限なし）となり、いずれも機動車に

分類され、運転免許が必要で、非機動車レーンの通行は認められない。技術基準は電動自転車とは別のGB/T 24158-2018が適用される。

5.2 中国の電動自転車誕生の背景

中国の電動モーター駆動自転車のマジョリティは、1.2に述べたとおり、本研究の「電動アシスト自転車」の定義に合致するものではない。しかしながら、本研究の目的が、技術発展の方向性が社会制度の違いに強く影響を受けることを解き明かすものであることから、中国式の電動自転車を外して論ずることは適切ではない。

中国式の電動自転車は、ほぼ人力を要せず、電気駆動装置のみで走る二輪車であるが、中国でこの電動自転車が急速に成長した要因については、駒形（2013）が、需要、供給、制度という3方向から検証しており、その需要について、公共交通機関の整備が移動需要に追いつかなかったこと、経済成長によって乗用車には手が届かないが一般の自転車よりも高価な移動手段を購入できる層が構築されたこと、そして、交通混乱や環境などを理由に多くの大都市でオートバイの走行が制限・禁止されたことによってこの層が厚くなったことが需要増加の要因であるとする³³。

そのオートバイの制限・禁止というものを年代ごとに辿り、表にまとめると「機動車・助力車」などの車両種類の違いと、地方政府による二輪車全般の扱いの差、および「ナンバープレート制限」というものに行き当たる。ナンバープレート制限とは、ガソリンで動くオートバイの増加を止めるため、またはそれらの都市中心部への流入を抑制するために自治体が導入する行政規制のことであり、中国各都市で深刻化した大気汚染と、交通混雑の激化を背景とするものである。

表-6は中国の電動自転車の進化をまとめた表である。最初に言及すべきは1993年北京都市で始まり、1997年前後に中国全土の大都市に広まっていった

オートバイのナンバープレート発行の制限であろう。定められ、その前後に多くの都市でナンバープレート中国ではこの後の 1999 年 GB で電動自転車の要件が ト制限が実施されたことが確認される。

表-6 中国の電動自転車の進化に関する経緯

1989 年(平成元年)	●1989 年の国家規準では、非機動車に電動自行車(自転車)は、含まれていない。
1993 年(平成 5 年)	●北京市で「摩托車(オートバイ)の都市部での通行禁止、ナンバープレート交付を年 2 万枚以下にする」規制開始。【ナンバープレート制限①】 オートバイは内燃エンジンの二輪車を指している。
1995 年(平成 7 年)	●1995 年の 4500 万台が、中国の自転車(ノンアシスト)生産のピーク。 ●この頃、上海の自転車メーカーが電動アシスト自転車を量産に成功したとされる。(丸山、陳、明田など) ……電動自転車は 1995 年から 2000 年にかけて、地方それぞれのかなり混沌とした自由な市場の中で発展してきたといえる。この時期の各種開発の積み重ねが、人材、技術、製品開発の面で、今後の業界の礎を築いたのではないかな。
1997 年(平成 9 年)	●杭州市(1997)上海市(1998)蘇州市(1999)など沿岸部の大都市で「オートバイ及び助力車(排気量 50cc 未満のオートバイ)の、ナンバープレートの発行および通行を禁止する「ナンバープレート規制」スタート【ナンバープレート制限②】 ●電動自行車の国家規準【GB2 302-1997】が定められる。
1998 年(平成 10 年)	●「機動車運轉安全技術条件」(GB17284-1998)の基準発出 …部分燃油助力車(ペダルがあって、排気量 32cc 以下のもの)は非機動車であるが、設計最高速度が 20km/h 以下、全体質量が 40kg 以下、この 4 つが必須条件。 【例】排気量の大きい燃油助力車(32-50cc のもの)は軽便オートバイ(軽便摩托車)に属し、これは機動車である。
1999 年(平成 11 年)	●1999 年国家標準規格(GB17761-1999) 発出。この GB に「必須条件」と「推奨条件」が定められている。 前書き:…5.1.1 最高速度、5.2.1 ブレーキ性能、5.2.2 フレーム/フォークアッセンブリーの強度は必須、それ以外の技術要件(車両重量、ペダルの有無、バッテリーの定格電圧 48V など)は推奨とし、例外措置として 7 つまでは守らなくてもいい項目数を持つ。
2000 年(平成 12 年)	●2000 年前後に、多くの都市の自治体が「助力車」にナンバープレートを義務付けた。 ……これをきっかけとして、スクーター型の電動自行車(自転車)が急速に増えたのではないかな。
2001 年(平成 13 年)	●2001 年以降、全国で「オートバイ禁止令」が相次いで施行され、代替手段としての電動二輪車の産業発展の端緒が開かれることになった。
2003 年(平成 15 年)	●2003 年交通安全法 …非機動車の定義には、電動自行車の言葉が含まれている。しかし助力車に相当する規定はない。ただし電動自行車「等」と書いてある。 ●中国で SARS 発生、二輪車にとってプラスとマイナスの両面
2004 年(平成 16 年)	●2004 年「交通法」は、「非機動車」が「人力或いは畜力で駆動し公道を走行する交通手段、及び動力装置を有するものの最高時速、質量、外形寸法が国家規格に適合する障害者用動力付車椅子、電動自転車等の交通手段」と再定義された。
2007 年(平成 19 年)	●交通法修正(第 1 次修正)
2011 年(平成 23 年)	●交通法修正(第 2 次修正)
2012 年(平成 24 年)	●燃油助力車基準を、2012 年 10 月 30 日に全面的に廃止。これによりアシスト車は電動のみに。
2014 年(平成 26 年)	●2014 年と 2015 年に中国電動自転車の生産台数が減る(翌年以降は回復)。これはなぜだろうか？
2018 年(平成 30 年)	●2018 年基準(GB17761-2018) GB17761-2018 前書き:…「この基準の技術的内容はすべて強制である」 …GB1999 のような例外措置を認めなくなる。
2022 年(令和 4 年)	●最新の交通安全法(第 3 次修正)

これらの施策により、北京、上海をはじめとする大都市で内燃機関を持つオートバイの新規生産総量の規制と都市中心部への乗り入れ規制が実施され、そこに電動自転車が普及するきっかけが生まれた。

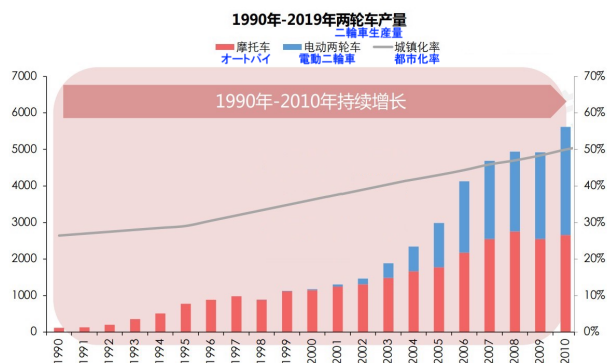


図-7 中国のオートバイと電動二輪車の売上の推移
(出典: 方正証券報告書)

の推移³⁴だが、電動自転車(青・电动两輪車=電動二輪車)の売上が 2000 年から著しく拡大していることが分かる。

駒形(2013)や当時の状況を鑑みると、1990 年代半ばには中国の二輪車業界は、すでに日本で電動アシスト自転車が普及し始めているという事実を知っていた可能性が高い。しかし 1990 年の間は、内燃機関を持つオートバイが普及している中で、あえてパワーや航続距離において劣る電動アシスト自転車に取り組む必然は少なかった。これはバッテリーがまだ低性能かつ高価であったことと、日本のように歩道通行やヘルメット忌避といったニーズに乏しかったからと推測できる。

それが 97 年以降、表-6 にあるように段階的にナ

図-7 は、1990 年代と 2000 年代の中国国内の売上

ナンバープレート規制がなされていき、実質的なオートバイ禁止が各都市で起きると事情が変わり、電動モーターに注目が集まった。ただし実際に普及したのは日本と違い、トルクセンサーやコントローラーを持たず、ハンドルレバーをひねると動力がかかる、いわば電動スクーターと呼ばれるべきものだった。これはハイテク部品を削ぎ落としたことによるコストダウンや、故障時の煩雑さを避けたいという動機以外に、中国社会の法・制度の自由さ（あるいは緩さ）すなわち「甚だしい場合には違法状態にあると判断可能な場合でも社会的コストが便益を上回らない限り市場に供することが許されている³⁵⁾」という状態が背景にあると考えられている。

5.3 中国電動自転車の分類と技術基準

中国の電動自転車が他地域に比較して特異な発展を遂げた理由は、動力装置を有すると視認できる電動自転車であるにもかかわらず非機動車に登録されたことが大きい（陳 2021）。本来中国においては車両を運転するために免許が必要な「機動車」と免許不要の「非機動車」に分類され、前者にはナンバープレートの登録が義務づけられていた。ところが機動車に属する二輪車に関しては、ナンバープレート制限によってほとんどの都市で通行が禁じられたため、非機動車すなわちナンバープレート不要の電動自転車が 2001 年以降急速に普及したものと推察される。

中国では、その後、2004 年、2007 年、2011 年と交通法を修正し、これらの非機動車を追認することになる（陳 2021）。その中で、本来これらの非機動車は「助力車産品生産許可証実施細則³⁶⁾」において、①電動自転車、②ガソリンエンジン助力自転車、③国家標準あるいは業界標準を有するその他助力自転車、の三種に分けられ管理されるはずだったが、結局、①だけが残し、免許不要の非機動車としてハイパワー化していった。

この電動自転車の GB には 1999 年から 2018 年の

間の規制に顕著な特徴があった。規制項目・全 34 項目は「①厳守項目」「②重要項目」「③一般項目」に分かれている。このうち①厳守項目にあたる最高時速、ブレーキ制動距離、フレームおよびフォーク強度の 3 つは絶対に守らねばならない。しかし、②重要項目は 18 項目中 3 つまで、③一般項目は 13 項目中 4 つまでは守らなくてもよいと定められていた。たとえば重量の 40kg 規制、ペダルの有無、モーターの定格出力など、他の項目次第では、守らなくても合法であり、何を守って何を守らないかはメーカーの意思に任されていた。

また厳守項目の最高時速 (20km/h 規制) にしても、ユーザーが容易にリミッターを外すことができるようになっていたため、同工業規格は有名無実化していたといえる（丸川 2012）。

5.4 中国電動自転車の興隆の理由

ただし、電動自転車の隆盛の理由は、必ずしも上記のような中国式の分類や法規制だけにあるのではない。北京、上海をはじめとする大都市での幹線道路には、図-8 のように乗用車 2 台分の幅員を持つ自転車レーンが用意され、そこを電動自転車がある程度以上のスピードで走っても支障が出ない。これは中国がかつて自転車利用大国であった頃の名残であるが、こうしたインフラを無視して「発展途上国的に安全を無視した野放図な電動自転車の運用」と考えるのは誤りであろう。



図-8 北京の自転車レーン（2016 年東長安街・筆者撮影）

6. 考察

この項では、前項までに整理した日欧中の経緯と特徴を踏まえ、これらを改めて比較することにより、それらの相違をもたらした原因の本質は何であったのかを考察する。

電動モーターをつけて自転車を楽しな乗りものにしたいという考え方は、古くは1895年のオグデン・ボルトンによる「電動自転車」の特許まで遡る³⁷。だが、およそ100年の間それは現実化されなかった。それはバッテリーやモーターの性能が低く、内燃エンジンを用いた方がはるかに高性能なものが安価に作れたからである。

ところが、1990年代に入って急速に電化が進んだのは、技術の進歩に加えて、それぞれの地域に生じた独自の「社会的動機」であろうと推測される。

表-7は、日欧中の差異を、(1)電動モーター付の自転車が90年代前後に登場した社会的動機、(2)電動(アシスト)自転車登場前の自転車に関するルールと社会的状況、(3)電動アシスト自転車登場後の自転車規制、(4)自転車に対する道路インフラの整備状況、(5)道路インフラからどのような自転車が主流となっていたか、の5項目により整理したものである。以下、この順序で考察を述べる。

表-7 日欧中の電動アシスト自転車規制の差異まとめ
(*電動アシスト自転車は中国の場合電動自転車)

	電動モーター付の自転車が90年代前後に登場した社会的動機	電動(アシスト)自転車登場前の自転車に関するルールと社会的状況	電動アシスト自転車登場後の自転車規制	自転車に対する道路インフラの整備状況	道路インフラからどのような自転車が主流となっていたか
日本	原付バイク(要免許)にヘルメット規制がかかったことに加えて、生活の足である自転車に関して、子乗せ自転車などでもっと楽に坂道を上りたいというニーズがあった。	1970年の道路交通法改正により、一部限定ながら自転車の歩道通行を認めたことが発端となって、これが敷衍し、現実として「歩道を走る軽快車」が自転車のスタンダードとなった。	歩道通行を認めることにより、自転車を法令上歩行者に準ずる位置づけとしたことから、歩道における歩行者との共存のため、人力の限定的な補助という規制基準が必要となった。	自転車の歩道走行が一般化し、車道における自転車の走行空間の整備が遅れ、路肩が狭い道路インフラの実情から、車道を危険と感じる「ママチャリ」ユーザーが少なくない。	自転車は歩行者と同カテゴリと認識する者が多く、歩道を通る機会が多いため、スピードの出ない軽快車(ママチャリ)が圧倒的シェアを占めることになった。
欧州 (主にEUの指令と規制による)	大気汚染、酸性雨など排気ガスの弊害から、モペッドを電動化する必要に迫られていた。	自転車はあくまで車両であり、歩道通行は認められていない。 移動手段として以外にスポーツや文化としての自転車の存在が、市民に浸透している。	免許不要の出力250W未満のモーターを持つ電動アシスト自転車と、免許の要る250W以上の電動自転車にカテゴリ分けした。いずれも場合も歩道を通ることは厳禁である。	自転車通行は車道が基本であるが、オランダやデンマークなど国によってはほぼ100%自転車レーンや自転車専用道を確保して安全性を担保している。	自転車は、歩道以外を走るものであることから、ある程度のスピードが望まれた。最大多数のダッチバイクと呼ばれる軽快車も、日本のママチャリよりスポーティな乗車姿勢をとる。
中国	改革開放後の経済発展に伴い、動力付きの二輪車のニーズがあったところに、ナンバープレート規制が重なり、電動の2輪車が求められていた。	大都市における自転車は通勤通学に欠かせない移動手段であったが、市民生活が豊かになるとともにその次の移動手段が求められていた。	電動アシスト自転車(助行車)への規制はあったが、自治体によっての差もあり、現実としてはさほど守られず、電動自転車を法律が追認する形となった。歩道を走ることはない。	大都市を中心に、元来の自転車分担率の高さから、自転車走行スペースは広がった。それが有効活用され、比較的安全に利用されている。 地方ではインフラが未整備なところは多い。	元来はたくさんの荷物が運べる運搬車が歓迎された。法律の規制がゆるめなことで、広い自転車レーンゆえ歩行者への危険を問題視しないことから、電動自転車は、かなりのスピードを出せるものとなった。

6.1 技術登場前後の社会状況による差異

日欧中それぞれの社会的動機からスタートした電動(アシスト)自転車は、それぞれのインフラおよび社会的ルールに応じて自転車の形態において大きな違いを生じさせた。

法令制度における日本の独自性は、1970年の道路

交通法改正以降、自転車の歩道通行を容認しており、これが一般化していたところに、他国と大きな差異を生んだ原因がある。即ち、自転車を軽車両として一般車両とは異なる類型と位置づけ、歩行に準ずる交通器具と捉えて、歩行者との共存を模索した。そのため、「人力のアシスト」という限定をはずすこ

とはあり得ず、トルクセンサー等の高度な技術と高価な部品を必要とすることとなった。また、自転車の主たる用途においても、「ママチャリ」と呼ばれる日常利用優先型のシティサイクルが普及し、幼児を前後に2人乗せての移動が一般化していたところにも、他国とは異なる都市生活の社会状況があった。これが「幼児2人同乗自転車の基準」という他国に類例を見ない技術基準を生むとともに、電動アシスト自転車の価格の引き上げと、それにもかかわらず販売台数の堅調な増加という市場環境を創り出した。

これに対して EU 諸国では、そもそも自転車は車両でありそれゆえ歩道を走らない移動手段であるとともに、用途の面においても、買い物などの日常利用というよりも、スポーツやレジャーを含む（歩行より長い距離の）移動の道具としての存在感が大きい。そこに電動アシスト自転車が登場し、スポーツ・レジャー用としての電動アシストが生まれ、免許の種類にも出力によって不要 (Pedelec)、簡易、必要、の3カテゴリ分けがなされた(齋藤 2016)。そのため、日本とは異なり、トルクセンサー等の高度な部品は必ずしも必要なく、技術基準もシンプルなものとなっている。

中国は、大気汚染対策と交通渋滞対策から各都市で導入されたナンバープレート規制の網をくぐるために内燃機関から電動モーターにシフトし、今日のように電動自転車が全盛となった。

6.2 道路インフラの整備

日欧中では、それぞれの地域の道路インフラにも違いが見られ、それが自転車の技術基準に影響した。

日本では自転車レーンがある場所が少なく、あったとしても安易な駐車車両の場となっていて、安全な自転車通行空間とは言いがたい。自転車は歩道を通るのが当然という意識があり、そこに最適化したのが軽快車（ママチャリ）であった。そうした必然から、日本の電動アシスト自転車は、歩行者に危険がないように、スピードが出ないように、極度に安

全を志向した規制を設けざるを得なくなった。

これに対して欧州と中国では、ハイパワーであり、なおかつ長距離巡航できることに力点が置かれたといえる。特にオランダ、ドイツ、デンマークなどの自転車先進国においては、大部分の都市内幹線道路に自転車レーンが敷設されており、そこを歩行者やクルマに気兼ねなく走るのがスタンダードであるという文化があった。モーターによるアシストは、元来ハイスピードだった自転車交通において高齢者などが体力を補うために使われたと考えられる。

一方、中国の道路インフラはもともと 1970 年代から 80 年代のノンアシスト自転車分担率が極端に高く、クルマ普及が低調だった頃に設えられたものであり、他国に較べて幅員が広いという前提から始まった。ここに経済発展からオートバイへの需要が生まれたが、中国政府の規制から、オートバイにかわって、ほぼ電動オートバイである電動自転車が走るようになった。歩道通行ではなく広幅員の自転車レーンが発達していたところに、日本との技術発展の方向性の差異が生じた原因があると考えられる。

7. まとめ

以上、本稿では、電動アシスト自転車の技術革新の過程を日本を中心に辿り、これを欧州および中国と比較することによって、一見世界共通の日用品に思える自転車の技術革新が、各国の置かれた社会状況の差異の影響を強く受けてきたことを解き明かした。

この研究作業の過程において、本稿では次の事実を明らかにした。

(1) 日本においては、モーターの力が人力を補強するという概念が突き詰められ、その結果、トルクセンサー等の高度な技術の開発と改良を促し、高価な部品の装着を義務化して、他国とは大きく異なる種類の製品が席卷する市場環境を生むこととなった。その背景には、自転車の歩道走行を認め、これが一般化していたという他国にはない特殊事情の存在が

ある。

(2) 日本における電動アシスト自転車の市場拡大は、自転車に2人の幼児を乗せて日常の移動に利用するという行為を妨げるべきではないという要請を受け、自転車の安全基準において幼児2人同乗自転車の基準という他国に類例のない技術基準が設けられたことが大きな契機となった。

(3) 欧州における電動アシスト自転車の技術は、主にスポーツタイプの自転車に採用されたが、この背景には、そもそも自転車の歩道通行が法令で禁止されていることから、「人力の補強」の概念が日本とは異なり、トルクセンサー等の高額な部品の装着を求める必要性に乏しかった社会状況がある。

(4) 中国における発展と普及が、ペダルを有しながらも、人力を要せずにモーターの駆動力のみで走行可能な「電動自転車」に向かったのは、自転車の歩道通行が禁止されていることに加えて、歩道でも車道でもない広幅員の「非機動車レーン」（自転車レーン）が街なかの幹線道路に広範囲に整備されていた道路インフラの状況に理由がある、このため歩行者との混在にかかる安全確保を想定する必要が薄く、免許の要・不要の区分を最高速度など最小限の基準で整理すれば足りる環境にあった。

(5) 中国で電動自転車が近年急速に普及した要因として、大気汚染対策等のためガソリン車の抑制に導入された「ナンバープレート規制」が大きな契機となった。

以上から、改めて現在の日本における自転車市場

の状況を考えると、ママチャリを含めた一般自転車の大部分が中国などからの輸入品に置き替わってしまった一方で、電動アシスト自転車が、価格の高額化にもかかわらず日本メーカーの独占状態で拡大している原因は、直接的には日本独自の安全基準が非関税障壁として作用していることがあり、その背景には自転車が車両というよりも歩行移動に準ずるという社会通念と利用実態の定着があるものと考えられる。

その一方、これまで述べてきたように日本のユーザーの要求が厳しい分、人間の行動を精緻にアシストするという観点において、より自然で違和感のないアシストシステムとなったのも事実である。このことが他の交通手段にない、より人間にフレンドリーなコンピューターを生む可能性は否定できない。たとえば免許返納後の高齢者のための自然で楽しい移動手段や、運動不足を解消する交通手段となるなど、より一層の進化の可能性があると考えられる。

謝辞: 本論文の執筆にあたり下記の方々および団体に多大なる指導、協力、資料提供などの便宜を賜った。ここに感謝の意を表する。東京都市大学西山敏樹准教授、諫川輝之准教授、東京理科大学鈴木公明教授、自転車文化センター森下昌一郎氏、谷田貝一男氏、井上一氏、劉佩琳氏、広田政文氏、一般社団法人自転車協会松坂佳彦氏、NPO 法人自転車活用推進研究会小林成基理事長、自転車ヘルメット委員会馬場誠事務局長、ヤマハ発動機、ジャイアント JAPAN

【注】

- 1 齋藤俊一: 中国電動自転車市場の実態 国際交通安全学会誌 2016年10月
- 2 丸川知雄, 駒形哲哉: 発展途上国のキャッチダウン型イノベーションと日本企業の対応-中国の電動自転車と唐沢製作所 独立行政法人経済産業研究所 RIETI Discussion Paper Series 12-J-029
- 3 日本特許第 2623419 号 (1992年9月30日出願, 1997年4月11日登録)
欧州特許第 0590674 号 (1992年9月30日出願(優先日 1992年9月30日) 1998年7月1日登録)

- 米国特許第 5474148 号 (1992年9月30日出願(優先日 1992年9月30日) 1995年12月15日登録)
- 4 江藤学: 国毎の規制の違いによるイノベーションの変化: 電動アシスト自転車の事例 JAIST 年次学術大会講演要旨集, 31:537-540
- 5 丸川知雄: 発展途上国のキャッチダウン型イノベーションと日本企業の対応-中国の電動自転車と唐沢製作所 RIETI Discussion Paper Series 12-J-029

- 6 陳玉雄：中国における自転車産業の発展とその主役
Reitaku Journal of Interdisciplinary Studies
Vol. 29 No. 2 March 2021
- 7 久米秀直：電動アシスト自転車の開発 1-4 日経エレクトロニクス 2013. 9. 2-11. 25
- 8 明田久稔：電動アシスト自転車の技術系統化調査 国立科学博物館技術の系統化調査報告 Vol. 30 2021. March 7. 1. 1
- 9 東正志：転換期の日本自転車産業と電動アシスト自転車 アジア経営研究 2012 年 18 巻 p. 67-77
- 10 尾田基，江藤学：先行者と後発者による新市場理解の相違・電動アシスト自転車の構造かプロセスを事例に 組織科学 Vol. 52 No. 3 33-46
- 11 日本においては道路交通法施行規則(昭和 35 年総理府令第 60 号)に「人の力を補うため原動機を用いる自転車」として基準が定められている。
- 12 産業技術史資料情報センターのウェブサイトにはこうある。「国産初の量産電動自転車. 現在の電動アシスト自転車とは異なり，エンジンをモーターに置き換えた原動機付自転車で，ペダルは付いているが，人力走行とモーター走行は別駆動であるいわゆるモペッドである為ナンバープレート台座が装備されている. バッテリーは鉛バッテリー. 松下幸之助創業者の『電気屋らしい自転車を作れ』との号令の下複数の事業部が共同で作りを上げた」
<https://sts.kahaku.go.jp/sts/detail.php?no=114211670036>
- 13 日本特許第 2623419 号 (1992 年 9 月 30 日出願，1997 年 4 月 11 日登録)
欧州特許第 0590674 号(1992 年 9 月 30 日出願(優先日 1992 年 9 月 30 日)1998 年 7 月 1 日登録)
米国特許第 5474148 号(1992 年 9 月 30 日出願(優先日 1992 年 9 月 30 日)1995 年 12 月 15 日登録)
- 14 1986 年の道路交通法改正で 第七十一条の四 2(原動機付自転車の運転者は，乗車用ヘルメットをかぶらないで原動機付自転車を運転してはならない)が追加された。
- 15 日本自動車工業会の資料などによる。
https://www.jama.or.jp/library/publish/mioj/ebook/bookdata_j/html5.html#page=23
- 16 自転車ヘルメット委員会と NPO 自転車活用推進研究会の分析による。また自転車メーカー「スペシャライズド・ジャパン」の調査に次のようなものがある。
【ヘルメット未着用理由】
1 位「めんどくさいので」
2 位「かぶると暑いので」
3 位「安全な乗り方をしているの」
4 位「髪型がくずれるので」
5 位「格好が悪いので」
6 位「ヘルメットは価格が高いので」
スペシャライズド 300 人ヘルメット調査から(2010 年 9 月)
<https://www.cyclists.jp/archive/20200803helmet.html>
- 17 警察庁統計「令和 3 年ヘルメット非着用の自転車乗用中死者・負傷者の人身損傷主部位別比較」によると頭部損傷の死者が 195 人 58.0%を占める。
- 18 亀谷友紀，山中英生，柿原健祐，横田周典：坂道と発進時における高齢者の自転車走行特性 土木計画学研究・講演集，2009
- 19 明田 2015, P-166 に「アシスト比率(=アシスト率)の拡大に関して(中略)2005 年 12 月に日本交通管理技術協会主催で一般ユーザ(30 歳代女性及び中年男女)対象の実証実験が行われた」として，その実証実験の様子が記されている。
- 20 根本哲夫，宮城俊作，篠沢健太：『多摩ニュータウン開発計画・自然地形案』にみる地形と空間構造の関係「1960 年代以降丘陵地は我が国のニュータウン開発の重要な対象地形域となってきた」など。
- 21 それまでの子乗せ付き電動アシスト自転車は，前輪 24 インチ，後輪 26 インチがスタンダードだったが，アシスト力のパワフル化・大容量化に伴って慣性モーメントに劣る 20 インチホイールが使えるようになった。
- 22 内閣府「子どもと家族を応援する日本」重点戦略検討「地域・家族の再生分科会」議事要旨
<https://www8.cao.go.jp/shoushi/shoushika/meeting/priority/saisei/k3/gijiyoushi.html>
- 23 警察庁交通企画課「幼児 2 人同乗用自転車」検討委員会の取りまとめ結果について
<http://jvia.or.jp/old/gishi-hp/gishihpimg/keisatuchokouhou.pdf>
- 24 警察庁「幼児 2 人同乗用自転車に求められる要件」(解説)平成 21 年 3 月 26 日
<https://www.police.pref.chiba.jp/content/commom/000006881.pdf>
- 25 1946 年に発売された VéloSoleX(仏)などが代表格とされる。
- 26 明田久稔：電動アシスト自転車の技術系統化調査 国立科学博物館技術の系統化調査報告 Vol. 30 2021. March 7. 1. 1 ではドイツ Diamant 社の City-Blitz(1992)が最も早い例の 1 つとしてあげられているが，これらのモデルはトルクセンサーを持たない。
- 27 拙書『自転車生活の愉しみ』2001 年東京書籍 はドイツとオランダでの都市交通としての自転車活用を描いている。
- 28 Tim Jones, Lucas Harms, Eva Heinenc: Motives, perceptions and experiences of electric bicycle owners and implications for health, wellbeing and mobility Journal of Transport Geography 53 (2016) 41-49
- 29 Elliot Fishman & Christopher Cherry (2016) E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research, Transport Reviews, 36:1, 72-91, DOI: 10.1080/01441647.2015.1069907
<https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1069907>
- 30 DIRECTIVE 2002/24/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 March 2002 relating to the type-approval of two or three-wheel motor vehicles and repealing Council Directive 92/61/EEC (Text with EEA relevance) Official Journal of the European Communities ずp 9. 5. 2002
- 31 筆者はジャイアント社製の EU 仕様の電動アシスト自転車“EXPLORER E+3”のスポーツモードを用い，東京大学の本郷キャンパス内でこれを試した。少しでもトルクをかけると坂道をぐいぐい登っていく感覚は電動アシスト自転車というより，まさに電動自転車であった。
- 32 欧州特許第 0798205 号(1992 年 9 月 30 日出願(優先日 1992 年 9 月 30 日)2003 年 11 月 26 日登録)
- 33 陳 2021

- 34 方正証券『電気二輪車産業の深層』No.2 【世界編】海外市場台頭, 1000 億ブルーオーシャンが有望, 2021 年 6 月 24 日, P7
- 35 駒形哲哉: 中国における“巨大なニッチ”型イノベーション ERINA REPORT PLUS No. 146 2019 February
- 36 中華人民共和国全国工業產品許可証弁公室 2006 年
- 37 米国特許 No. 552271 0. Bolton, Jr. “Electrical Bicycle” Patented Dec, 31, 1895

【参考文献】

(著者の姓のアルファベット順)

- 明田久稔: 電動アシスト自転車の技術系統化調査 国立科学博物館技術の系統化調査報告 Vol.30 2021.March 7.1.1
- 陳玉雄: 中国における自転車産業の発展とその主役 Reitaku Journal of Interdisciplinary Studies Vol.29 No.2 March 2021
- DIRECTIVE 2002/24/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 March 2002 relating to the type-approval of two or three-wheel motor vehicles and repealing Council Directive 92/61/EEC (Text with EEA relevance) Official Journal of the European Communities 2002.9.5
- 江藤学: 国毎の規制の違いによるイノベーションの変化: 電動アシスト自転車の事例 JAIST 年次学術大会講演要旨集, 31:537-540
- Elliot Fishman & Christopher Cherry (2016) E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research, Transport Reviews, 36:1, 72-91, DOI: 10.1080/01441647.2015.1069907 <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1069907>
- 東正志: 転換期の日本自転車産業と電動アシスト自転車 アジア経営研究 2012 年 18 巻 p. 67-77
- 疋田智: 『自転車生活の愉しみ』2001 年東京書籍 はドイツとオランダでの都市交通としての自転車活用を描いている。
- 方正証券『電気二輪車産業の深層』No.2 【世界編】海外市場台頭, 1000 億ブルーオーシャンが有望, 2021 年

- 6 月 24 日, P7
- Tim Jones, Lucas Harms, Eva Heinenc: Motives, perceptions and experiences of electric bicycle owners and implications for health, wellbeing and mobility Journal of Transport Geography 53 (2016) 41-49
- 亀谷友紀, 山中英生, 柿原健祐, 横田周典: 坂道と発進時における高齢者の自転車走行特性 土木計画学研究・講演集, 2009
- 警察庁「幼児2人同乗用自転車に求められる要件」(解説) 平成 21 年 3 月 26 日 <https://www.police.pref.chiba.jp/content/common/00006881.pdf>
- 警察庁交通企画課「幼児2人同乗用自転車」検討委員会の取りまとめ結果について <http://jvia.or.jp/old/gishihp/gishihpimg/keisatuchokouhou.pdf>
- 駒形哲哉: 中国における“巨大なニッチ”型イノベーション ERINA REPORT PLUS No. 146 2019 February (公益財団法人) 交通事故総合分析センター: ITARDA Information 交通事故分析レポート No.97 2012 年 11 月
- 久米秀直: 電動アシスト自転車の開発 1-4 日経エレクトロニクス 2013.9.2-11.25
- 丸川知雄, 駒形哲哉: 発展途上国のキャッチダウン型イノベーションと日本企業の対応-中国の電動自転車と唐沢製作所 独立行政法人経済産業研究所 RIETI Discussion Paper Series 12-J-029
- 内閣府「子どもと家族を応援する日本」重点戦略検討「地域・家族の再生分科会」議事要旨 https://www8.cao.go.jp/shoushi/shoushika/meeting/priority/saisei/k_3/gijiyoushi.html
- 根本哲夫, 宮城俊作, 篠沢健太: 『多摩ニュータウン開発計画・自然地形案』にみる地形と空間構造の関係「1960 年代以降丘陵地は我が国のニュータウン開発の重要な対象地形域となってきた」など。
- 尾田基, 江藤学: 先行者と後発者による新市場理解の相違・電動アシスト自転車の構造かプロセスを事例に 組織科学 Vol.52 No.3 33-46
- 齋藤俊一: 中国電動自転車市場の実態 国際交通安全学会誌 2016 年 10 月

著者紹介：



疋田智 (Satoshi HIKITA)

NP0自転車活用推進研究会
理事、著書に『自転車の安全鉄則』『自転車ツーキニスト』『ものぐさ自転車の悦楽』など。TBS勤務。



明石 達生 (Tatsuo AKASHI)

東京都市大学 都市生活学部
教授、専門は、都市の公共政策および都市計画制度

地域防災学習を目的としたスマートフォンによる 位置情報ゲームアプリの開発研究

Development of Location Based Game Application with Smartphone For Local Disaster Prevention Learning

信太洋行, 小見康夫 (東京都市大学)

Hiroyuki Shida, Yasuo Omi (Tokyo City University)

Abstract Interest in disaster prevention learning is increasing for improving the method of “self-help” and “community-help” based on the experiences of major disasters such as the Great East Japan Earthquake. There exist hazard maps and disaster prevention maps as tools for disaster prevention measures, but evacuation with looking at a map is not realistic in case of emergency. We think that it is indispensable for accurate judgment and appropriate action at the time of emergency regularly with the knowledge obtained from the disaster prevention manual.

So, in this report, as a new method of disaster prevention learning, we develop a location based game with smartphone application for learning evacuation route.

Keyword: Disaster prevention learning, Evacuation route, Smartphone Location based game

1. はじめに

自然災害の多発する我が国において、その被害を小さくするためには「自助」「共助」「公助」の取り組みが基本となる。東日本大震災以降、とりわけ「自助・共助」の重要性が広く認識されるようになり、防災教育への関心が高まる中、既に様々な地域でそれらは実施されている。

小村・平野¹⁾による「DIG」は、白地図に災害予想区域や避難場所、公園等の位置を書き込むことで、地域特性や災害イメージを捉え、避難行動を考える災害図上訓練である。日建設計²⁾による「逃げ地図」は、高台への避難経路と所要時間を色鉛筆で塗り分ける地図作成により、地域住民間のリスクコミュニケーションを実現している。これに対して、矢守³⁾による「クロスロード」は、災害対応のジレンマを Yes か No の二者択一で選択させ、様々な立場の考えを共有するカードゲーム、静岡県危機管理局⁴⁾が開発した「HUG」は、避難者の属性情報が書かれたカードを体育館等の避難所に見立てた紙上に配置し、避難所運営を疑似体験するカードゲー

ムで、これらはゲームで学習することによる汎用性、目標・評価の明確化、参加者のモチベーション向上を狙っている。ならばスマートフォンのアプリでこの種の防災教育のゲーミフィケーションを実現しようとするのは当然の流れと言える。矢守⁵⁾による「逃げトレ」は、スタートとともに発生・進行する仮想津波と、アプリユーザーの実際の移動行動（模擬避難）をマップ上で重ね合わせ可視化することで、個人またはグループでの津波避難訓練をゲームのように行うものであり、裏付けのあるシミュレーションと洗練されたインターフェイスを有し、この種のものとしては秀逸である。

しかしながら、この種の「避難シミュレーションゲーム」は、それが実際の場所に依存しているが故に、またゲームのゴールが避難の成否であるが故に、数回もプレイすれば習熟してしまい（その事自体は望ましいのだが）、ユーザーが興味を失ってしまうことで、アプリ自身の更新による持続可能性が危ぶまれるというジレンマを抱えている。

そこで 2016 年の「ポケモン GO」のブームによ

り広く一般化した「まち歩き」の要素を取り入れた位置情報ゲーム」～ここではスマートフォンを携帯・移動しながら、地図上に配置されたアイテムを獲得して得点等を競うものを指す～に防災教育要素を組み合わせることで、ユーザーが繰り返し楽しめるゲームにすることを考えた。ただし「ポケモン GO」のように広大（この場合は世界全体）で膨大なユーザー数が同時にプレイするような巨大なサーバーを前提としたシステムを構築するのには無理がある。そこで、

- ①比較的小数（数人～数十人程度）のユーザーが2～4チームに分かれて行う対戦ゲームとする。すなわち、不特定多数がネット上で出会い完結するゲームではなく、参加者が最初に集合しチーム分けを行った後にまち歩きに出発するという、集団学習型のゲームアプリを基本とする。具体的にはスマートフォンのGPS機能を利用し、実際に地域を歩いて、地域特性や自らの体力レベルに気づきを与え、防災拠点等を記憶させる仕組みとする。
 - ②その代わり、ゲームのフィールドやアイテムは（発生する災害の種類や程度、防災拠点の密度等が異なる）個別の地域や目的、対象ユーザー（例えば年齢層）に応じてその都度カスタマイズできるようにする。すなわち単一のアプリではなく、地域・目的によって様々なバリエーションが成立可能なアプリとし、小規模なサーバーでも運用可能なシステムとする。
 - ③従って、まずは当該アプリの「共通プラットフォーム」～ここでは地図上に個別のアイテムや関連情報が一切実装されていない空の状態のアプリの事を指す～を開発し、それに具体的なアイテム・情報を実装して防災教育ゲームに仕立てる。
 - ④ゲームにはロジェ・カイヨワの指摘する「競争・運・模倣・眩暈」といった遊びの要素⁶⁾を取り入れ、老若男女が楽しみながら防災を学べる仕組みとする。
- といった方法により以下に示す一連の研究を行った。

2. 研究方法

本研究は、図1に示す4段階の手順を通して一連の開発、実証実験及び分析・考察を行った。

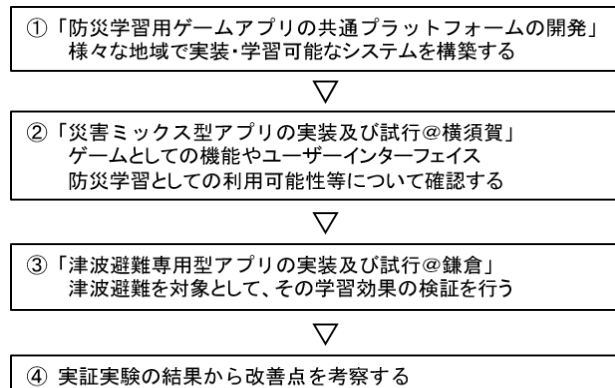


図1 本研究のフロー

具体的には、地域の防災拠点等の座標データ（緯度経度）や画像データ、地震・津波・土砂・火災の最大4種の危険度を入力することで、アプリ内の地図上に防災拠点等を出現させ、個人または複数のチームが位置情報ゲームに参加できるようにする。本稿では前述の共通プラットフォーム上に「災害ミックス型」と「津波避難専用型」の2種のアプリを開発し、それぞれ横須賀市と鎌倉市の防災情報を実装して実証実験を行った。

3. 防災学習用ゲームアプリの共通プラットフォームの開発

3.1 ゲームの基本ルール

本アプリは、防災拠点やその周辺を実際に歩いて訪ねることで、それらの位置やそこに至る経路等を学習することを主な目的とする。ゲームの基本ルールは以下の通りとする。

- ①地図上で、防災拠点となる場所に「タワー」を配置し、その近傍の目印となり得る場所に「スポット」を配置する。
- ②各々の「スポット」には、その地点の災害安全度（ハザードマップを基に設定）に応じた「防災ポイント」を付与する。
- ③プレイヤーはチーム（最大4チーム）に分かれ、街の様々な場所に設けられた「スポット」を訪ね、

その付近に近づく「防災ポイント」を取得できる。集めた「防災ポイント」は「タワー」に注入でき、チーム単位で集計される。これは玉入れに見立てた「模倣」の要素である。

④当該タワーにおいて、ある時刻、最も多くのポイントを注入しているチームがそのタワーの「占有チーム」となり、占有持続時間に応じて当該チームに得点が与えられる。一度占領されても、他チームの注入ポイントが上回れば「占有チーム」は交代となる（「眩暈」の要素）。ゲーム開始からゲーム終了までの間に占有したタワーの数・時間の積上げにより合計得点を競い合う（「競争」の要素）。

⑤ゲームにランダム性を与える「災害イベント（獲得点の一部が失われる）」や「被災者（ボーナスポイントとなる）」の発生（「運」の要素）、ゲーム終了後のスコアのリセット等、ゲームの運営管理はwebページによる管理画面から操作できるように設定する。

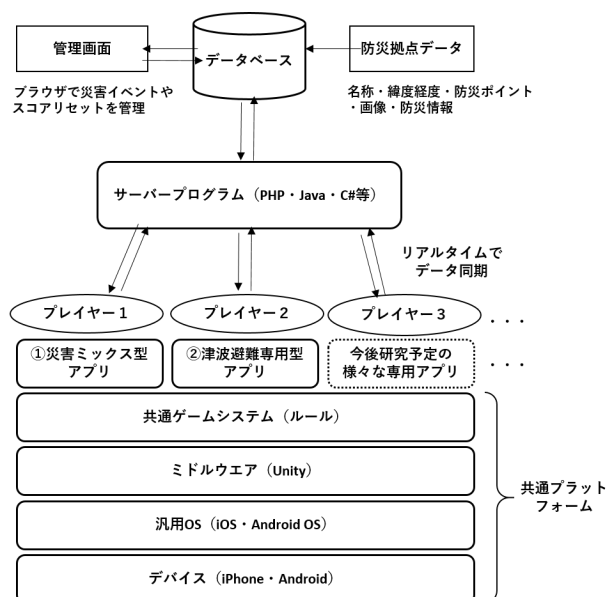


図3 アプリを実行するシステムの概要図

3.2 開発したシステムの概要

開発したアプリの画面構成・画面遷移を図2、これを実行するシステムの概要を図3に示す。開発した共通プラットフォームは、前述したゲームシステムと現在スマートフォンアプリ開発でデファクトスタンダードになっているミドルウェア（Unity）、世界的にユーザーの多い汎用OS（iOS・Android OS）とそのデバイスで構成されている。

また、システムの技術レイヤは（1）「Unity」上で開発した2つのローカルゲームアプリ（2）ローカルゲームアプリからリアルタイムで送信される位置情報データや各種ゲームデータを受信し、処理結果を送信するサーバープログラム（3）自動でサーバープログラムに読み込める外部データベース、の3つの要素で構成される。

（2）のサーバーは、同時プレイ人数を最大15名程度に絞ることで、一般的なWeb用レンタルサー

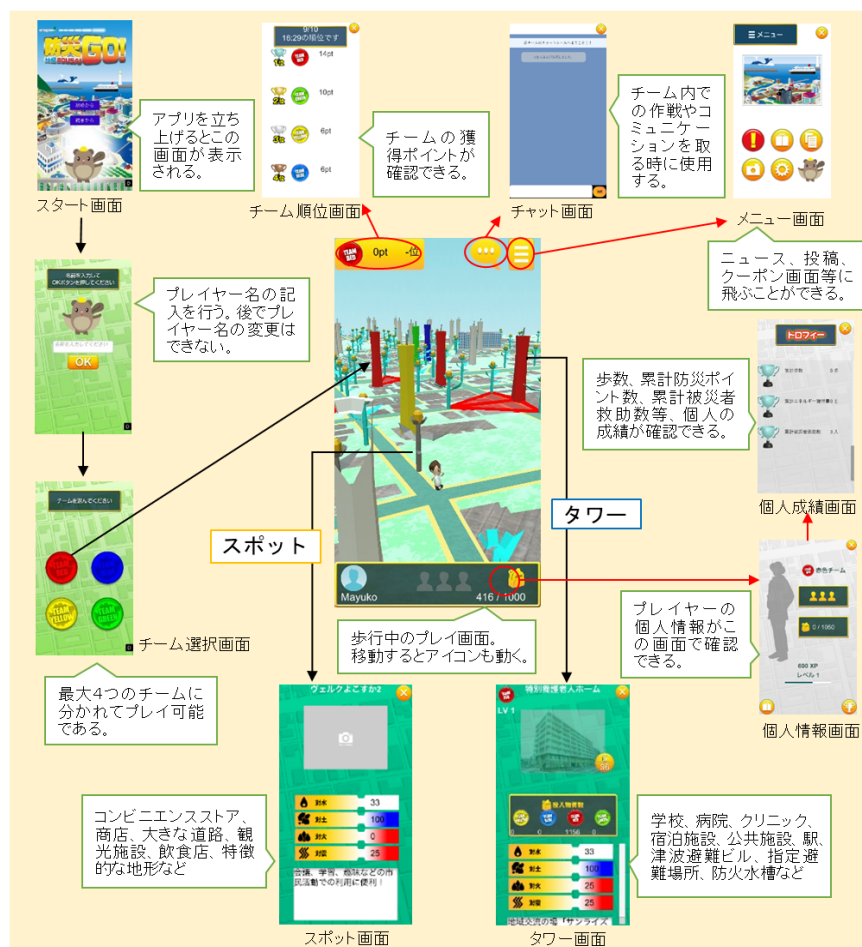


図2 アプリの画面構成と画面推移

3.3 アプリの実装方法

```
graph TD; A[①対象地域のハザードマップから防災拠点等を選択する] --> B[②選択した防災拠点等の緯度・経度をGoogleマップから抽出する]; B --> C[③防災拠点等の被害レベルに応じてポイントを設定する]; C --> D[④選択した防災拠点等の画像データ、防災情報を入手する]; D --> E[⑤上記のデータを入力・一覧化しサーバー上にアップロードする];
```

①対象地域のハザードマップから防災拠点等を選択する

▽

②選択した防災拠点等の緯度・経度をGoogleマップから抽出する

▽

③防災拠点等の被害レベルに応じてポイントを設定する

▽

④選択した防災拠点等の画像データ、防災情報を入手する

▽

⑤上記のデータを入力・一覧化しサーバー上にアップロードする

広域避難場所や津波避難ビルといった地域の防災拠点「タワー」と、その周辺に点在する「スポット」は、紙媒体のハザードマップや行政のホームページで閲覧可能なeマップをもとに選択し、それらの緯度・経度情報をGoogleマップ上で抽出する。タワー・スポットの属性情報は緯度経度の他に、防災特性ポイント、画像情報、防災情報を含んでおり、これらはExcel上で入力する(表1)。

4.1 危険度に応じた防災ポイントの付与

表1 防災特性ポイント等の入力画面

ID	名 称	種類	緯度	経度	対水害	対土砂	対火災	対地震	画像	防災情報
15003	神奈川歯科大学体育館	タワー	35.2835	139.671	33	100	50	25	15003	帰宅困難者一時滞在施設
15004	サイカヤパーキング	タワー	35.2834	139.67	33	100	50	25	15004	津波避難ビルの入口を確認！
15005	三笠公園	タワー	35.2852	139.674	0	100	50	25	15005	広域避難地
15008	横須賀市立諏訪小学校	タワー	35.2825	139.674	33	100	50	25	15008	グラウンドは広域避難地
15009	横須賀小川町パーキング	タワー	35.2825	139.67	33	100	25	25	15009	全収容台数12台
15011	セルパ横須賀中央SS昭和礦油(株)	タワー	35.2827	139.668	33	100	0	25	15011	ガソリンスタンドの建物は頑丈で耐火性も高い

表2 防災特性ポイント

対称災害	地 震		津 波		土 砂		火 災	
情報源	震度マップ (大正型)		津波ハザードマップ		土砂災害ハザードマップ		地震災害危険度マップ (eかなマップ)	
ポイント換算	ハザードレベル	ポイント	ハザードレベル	ポイント	ハザードレベル	ポイント	ハザードレベル	ポイント
	震度 7	0	10m超	0	土砂区域内	0	高い	0
	震度 6強	25	10m	33	土砂区域外	100	やや高い	25
	震度 6弱	50	5m	66			普通	50
	震度 5強	75	3m	100			やや低い	75
	震度 5弱	100					低い	100

4.2 実証実験

4.2.1 実験の概要

対象地区として、起伏が激しく、埋め立て地であるため、三浦半島断層を震源とする直下型地震が発生した場合、激しい揺れに見舞われると予測される本庁地区（汐入・横須賀中央駅周辺）を選定した。また、実験時間内でのゲーム性を確保するために、タワーは 50～100m を目安に 143 か所、スポットは 30～50m を目安に 428 か所抽出した（図 5）。

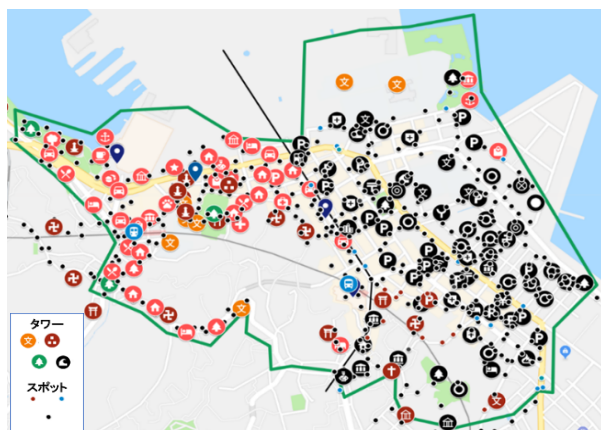


図5 抽出したタワーとスポット

実験は2017年11月11日の10:30~17:00、研究室の学生16名（男性9名／女性7名）を対象に行った。ゲームは前半60分×2回、後半90分の計3回、4チームの対抗戦を実施し、ゲーム終了時に獲得した得点を競う設定で行った。

また、UIの使用感等の変化を捉えるために、前半・後半終了後に同じ内容のアンケートを2回行い、更にゲームを通じて被験者がどのタワー・スポットを記憶しているか、後日アンケートを行った。実証実験フローを図6に示す。

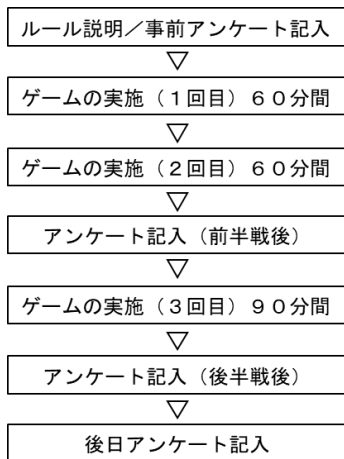


図6 実証実験フロー

4.2.2 当日アンケートの結果

当日アンケート内容を表3に示す。「Ⅰ：ゲームに関して」「Ⅱ：防災に関して」は「1.全くそう思わない」から「5.非常にそう思う」の5段階評価とした。アンケートは、前半戦（60分×2回）終了後、後半戦（90分）終了後にそれぞれ実施し、結果を比較した。

（1）前半・後半戦後の比較

アンケート結果を表4に示す。全ての設問において、前半戦後よりも後半戦後の平均値が向上しているが、t検定により検定した結果、その差が

表4 アンケート結果1

	前半戦後 平均値	後半戦後 平均値	P値 片側t検定
I-Q1	4.19	4.50	0.09
Q2	4.00	4.50	0.04
Q3	4.13	4.38	0.15
Q4	3.81	4.13	0.07
II-Q1	3.19	3.44	0.08
Q2	3.50	4.06	0.01
Q3	2.94	3.19	0.17
Q4	3.00	3.13	0.32
Q5	3.00	3.19	0.21
Q6	3.31	3.63	0.12
Q7	4.00	4.31	0.07
Q8	3.44	3.69	0.17

有意と認められた（P値<0.05）設問は、I-Q2「アプリのルール理解」とII-Q2「各スポット・タワーをタップした際に、画面上の写真から実物を確認」の2つであった。

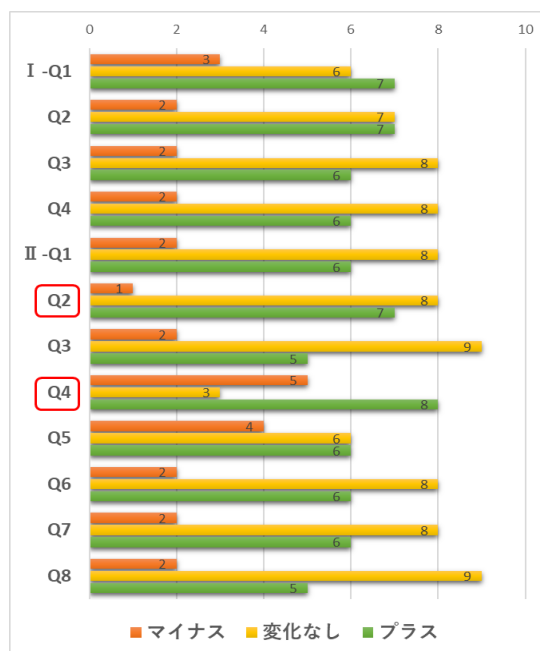
表3 当日アンケートの内容

Ⅰ：ゲームに関して	
Q1	実際にプレイをしてみて、楽しかったですか。
Q2	アプリのルールは理解できましたか。
Q3	ゲームの勝因、又は敗因を把握できましたか。
Q4	ゲーム中に参加する意欲を維持できましたか。
Ⅱ：防災に関して	
Q1	ゲームを通して、防災に関する意識・知識は高まったと思いますか。
Q2	各スポット・タワーをタップした際に、画面上の写真から実物を確認しましたか。
Q3	各スポット・タワーをタップした際に、防災ポイントの4つの内訳について確認・意識しましたか。
Q4	各スポット・タワーをタップした際に、テキスト情報を読みましたか。
Q5	各タワーでは、それぞれの入り口を把握できましたか。
Q6	スポットやタワーを回ること、危険な場所や安全な場所について学習できましたか。
Q7	スポットやタワーを回ること、街について詳しくなりましたか。
Q8	スポットやタワーを回ること、高台避難のシミュレーションになったと思いますか。
Ⅲ：今後のアプリに関して	
Q1	本日防災GOをやってみて、このゲームに新しくつけて欲しい機能等がありますか。
Q2	今後、投稿機能を実装しようと思いますが、投稿機能が追加されたらどのように使いたいですか。

（2）同一回答者の意識変化

次に、前半戦後・後半戦後における同一回答者、同一設問に対する回答を比較し、回答者の認識の変化を分析した（表5）。すなわち、ある設問に対して、前半戦後・後半戦後で「3.どちらでもない」から「4.そう思う」の様にプラス側に変化する場合を「プラス」、逆を「マイナス」、同じ回答をした場合を「変化なし」とした。その結果、12問中8問（約67%）において「変化なし」が多い結果となったが、II-Q2「各スポット・タワーをタップした際に、画面上の写真から実物を確認」はマイナスの変化が少なく、逆にII-Q4「各スポット・タワーをタップした際に、テキスト情報を確認」は、マイナスとプラスに二極化する結果となった。

表5 アンケート結果2



(3) 今後のアプリについて

アプリに対する要望（自由回答）としては、「自チーム内メンバーの位置情報が欲しい」「危険な場所に着いたら危険な感じがもっと分かると良い」「安全なスポットを広める掲示板として、スポットの情報を投稿して追加したい」等があった。

4.2.3 後日アンケートの結果

被験者がタワー・スポットをどの程度記憶しているか、実証実験の2週間後の11月25日、実験に参加した学生16名中の13名を対象に調査した。被験者は、施設・場所が記入済みのアンケート用紙に○をつけて回答する。調査結果を以下の図7に示す。

「学校」「公園」「緑地」「大きな道路」等、防災対象として重要な場所（赤線囲み）ほど記憶しやすいが、日頃利用しない、老人ホームや教会（青線囲み）は記憶しにくいことが分かった。また、飲食店はスポット数が多い割には記憶数が少なく、「駅」や「大きな交差点」等は記憶数が多いという結果になった。

4.3 小結

災害ミックス型アプリを用いた実験により、Google マップ上で抽出したタワー・スポットの緯度経度情報がスマートフォン上の地図にアイコンとして出現し、それらに近づく防災特性や画像データ、

防災情報等が表示される画面に切り替わり、ゲームとして成立することが確認できた。また、アンケートより以下の知見を得た。

・ゲーム時間が長くなるほど、ルール理解が進み、スマホ画面の情報から実物のスポット等を見る余裕が生まれる。ただし、スマホ画面上の防災情報（テキスト）は、読む人と読まない人に二極化したことから、実物と防災情報を合わせて参照するUI、例えばARを利用する等の工夫が必要である。

・駅や大きな道路は、タワー・スポットの数が少なくても記憶数が多いが、日頃利用することの少ない教会や老人ホーム等の用途の建物は記憶数が少ないことから、アプリ利用者の生活行動を反映することでタワーとスポットの関連付けを強め、何度も立ち寄る仕掛け等が必要である。

ただし、災害の種類により避難行動は異なるため、複数の災害を想定した災害ミックス型では、実際の避難行動に対する効果の検証には至らなかった。

5. 津波避難専用型アプリの実装及び試行

5.1 実証実験の目的

アプリによる避難行動への効果を直接検証するため、津波襲来時の避難経路の学習に特化した「津波避難専用型ゲームアプリ」を実装し、実験による学習効果を検証する。

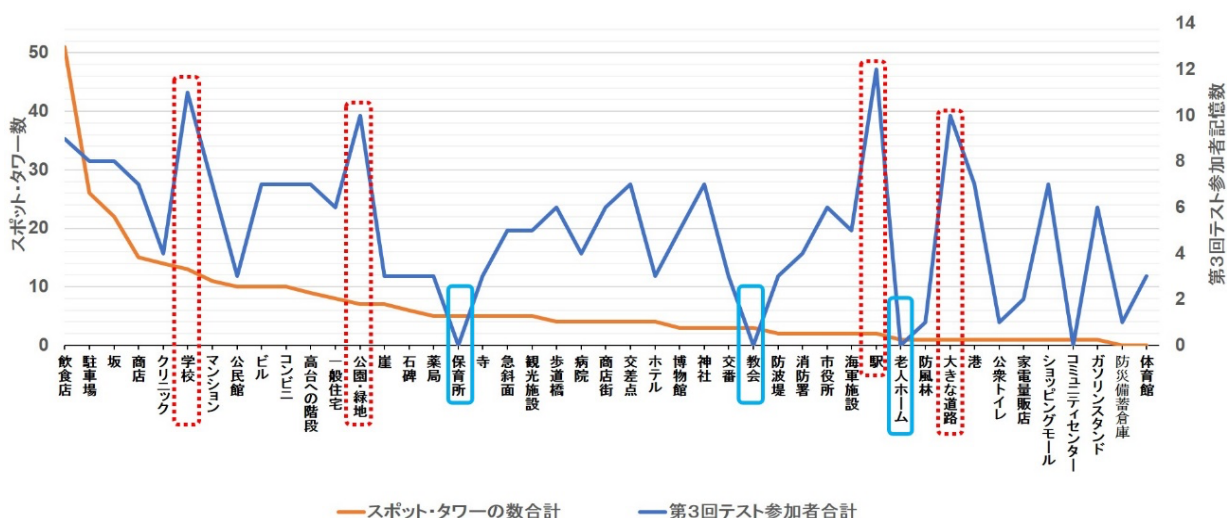


図7 選定したタワー・スポットの数と記憶した数の関係

対象地域は鎌倉市の由比ヶ浜地区周辺とする。鎌倉市津波避難計画（案）⁷⁾によると、元禄型関東地震と神縄・国府津・松田断層帯の連動地震による由比ヶ浜地区の津波到達時間は8分と想定されている。そこで被験者であるプレイヤーには、ゲーム前後にそれぞれ8分間で自分が安全と判断した建物や場所に先ず避難してもらう。避難時間・避難先安全度・避難距離（それぞれ後述）の3つのパラメーターを用いてゲーム前後でこれらがどう変化したかを見ることで、ゲームアプリの学習効果を検証した。

5.2 タワー・スポットの配置

「タワー」は鎌倉市津波避難経路マップと鎌倉市津波ハザードマップから、津波避難ビル28カ所、津波避難空地12カ所を抽出した。また、「スポット」に関しては、鎌倉市津波避難経路で推奨される主要避難路に沿って抽出し、津波避難ビル等に辿り着くための避難経路にプレイヤーを誘導する役割を持たせることで、タワーとスポットの関連付けを強めた。具体的には、人が集まる駅・観光地・歴史的名所・飲食店だけでなく、避難誘導シートの設置地点に設定し、該当するものが少ない避難経路には、特徴的な道など194カ所を抽出した。

また、津波ハザードマップの想定する「浸水レベルが変化する境界」に設置することで、プレイヤーが現時点と浸水レベルを認識する工夫をした。

5.3 防災ポイントの設定

鎌倉市津波ハザードマップでは、明応型地震のデータを使用して、9つの浸水深さレベルに色分けさせている。ここで

は、1階天井を超えて浸水する深さ（3.0m以上4.0m未満）までの5つのレベルに対して、浸水の深さ

表6 防災ポイント

浸水の深さ	防災ポイント
3.0m以上4.0m未満	100
2.0m以上3.0m未満	200
1.2m以上2.0m未満	300
0.5m以上1.2m未満	400
0.5m未満	500

が最も危険なランクを100ポイント、最も安全なランクを500ポイントとし、防災ポイントを配点した（表6）。ポイントが高い地点ほど安全で、低い地点ほど危険ということをプレイヤーに理解させる仕組みである。

5.4 実証実験の概要

実証実験は、2018年11月17日と11月25日の2日間、ゲームはⅠ・Ⅱ・Ⅲの3回実施した。実証実験の概要を表7・図8に示す。

表7 実証実験の概要

Ⅰ：2018年11月17日	Ⅱ：2018年11月17日	Ⅲ：2018年11月25日
参加者：学生6名、教員2名	参加者：学生6名、教員2名	参加者：学生9名
ルール説明／事前アンケート記入	由比ガ浜から8分間避難（1回目）	ルール説明／事前アンケート記入
鎌倉駅から8分間避難（1回目）	アンケート記入（実験中）	鎌倉駅から8分間避難
アンケート記入（実験中）	由比ガ浜周辺でゲームの実施（40分間）	アンケート記入（実験中）
鎌倉駅周辺でゲームの実施（40分間）	由比ガ浜から8分間避難（2回目）	鎌倉駅から和田塚駅に向かってゲームの実施（30分間）
鎌倉駅から8分間避難（2回目）	アンケート記入（実験後）	和田塚駅周辺でゲームの実施（60分間）
アンケート記入（実験後）		由比ガ浜駅から8分間避難
		アンケート記入（実験後）

Ⅰ・Ⅱの被験者は研究室の学生（男性2名／女性4名）と教員（男性2名）、Ⅲの被験者は研究室の学生（男性7名／女性2名）とし[Ⅰ・Ⅱはa～h、Ⅲはi～qの異なる被験者]、4チームに分かれて実施した。事前アンケートより、土地勘の全くない者同士で構成されるチームは無いように配慮した。8分間避難は、既存アプリ「LINE」の位置情報機能を利用して一人ずつ行った。流れは以下のとおりである。

- ①前の被験者に追従しないよう、30秒間おいてスタートさせる。
- ②被験者は自分が安全と判断する場所まで避難する。
- ③避難場所を確定後、画面上の地図に現れる住所を送信する。加えて、避難に要した時間と避難場所の画像を送信する。

また、ゲーム中における被験者の位置情報は、リアルタイムで常時サーバーと同期され、避難経路として記録される。アンケートは事前の他に、実験中・実験後に実施した。

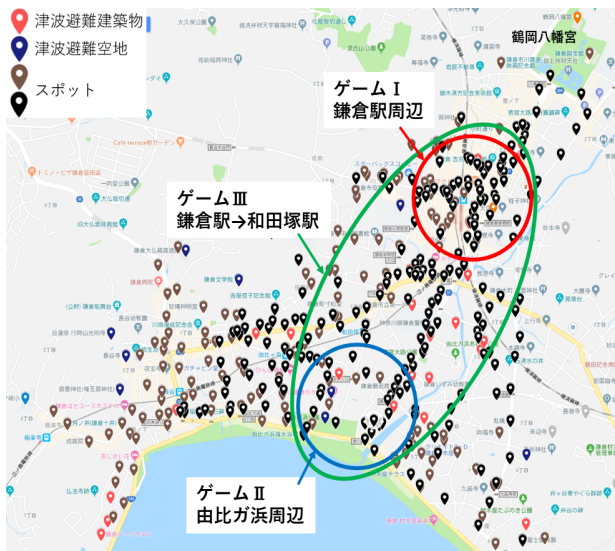


図8 実施したゲームⅠ・Ⅱ・Ⅲのエリア

5.5 避難の評価方法

実験で記録したデータから、被験者別に a)~c) のパラメーターを抽出し、ゲーム実施前後の8分間避難を以下の①、②の評価法を用いて評価し、ゲームによる学習効果を検証した。

- a) 避難時間：避難完了までに要した時間。8分間で避難が完了できなかった場合は全て8分とする。
- b) 歩行距離：避難場所到着までに歩いた総距離。
- c) 安全度：被験者が避難した場所を、津波ハザードマップの浸水深さや津波避難所を参考に1～5点の配点を行った(表8)。

評価法①：安全度/避難時間(分)

安全な場所に短い時間で避難できるほど高評価

評価法②：安全度/避難歩行距離(km)

安全な場所に短い距離で避難できるほど高評価

表8 避難先の安全度

安全度	想定浸水レベル
5	津波避難所・浸水0m
4	浸水0.5未満・危険経路
3	浸水0.5以上1.2未満
2	浸水1.2以上2.0未満
1	浸水2.0以上3.0未満

5.6 検証結果

5.6.1 避難行動の評価結果

評価法①②により、実施した3回のゲーム(Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ)の効果を検証した。結果を図9に示す。

(1) ゲームⅠの結果

ゲーム前後で評価が下がっているg以外の被験者

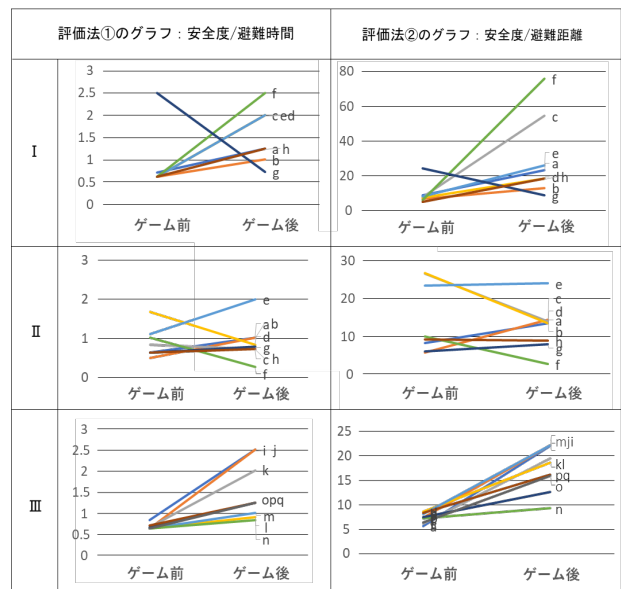


図9 ゲーム実施前後の評価

は、2回の8分間避難において安全度5の場所に避難し、安全度に差が生じなかったが、避難時間は平均約7.1分→3.5分、避難距離は平均0.68km→0.25kmと短くなり、評価法①は平均0.87(／分)→1.59(／分)、評価法②は平均9.0(／km)→29.5(／km)となり、共にゲーム後の評価が向上した。

評価を上げたc,fは、ゲーム前は共に鶴岡八幡宮に避難していたが、ゲーム後は参道途中の避難ビルに避難することで、避難時間・距離を大幅に短縮している。評価を下げたgは、津波避難ビルに隣接する建物に避難したためである。

(2) ゲームⅡの結果

避難時間は平均6.2分(ゲーム前)から平均5.4分(ゲーム後)、避難距離は平均0.46km(ゲーム前)から平均0.41km(ゲーム後)と短くなったが、評価法①は平均0.87(／分)→0.91(／分)とわずかに向上し、評価法②は平均14.4(／km)→12.3(／km)と低下した。

評価を上げたeは、ゲーム前後で同じ避難ビルに避難したため、避難時間を短縮できたためである。評価を下げたdは、ゲーム前後で安全度5の避難ビルに避難しているが、同じ経路上で距離が約2倍の位置にある避難ビルを選択したため距離が伸びた。また、fはゲーム前とは異なる避難経路を選択した

ため、時間内に避難場所に辿り着けなく、安全度 4 → 1 となり著しく評価を下げた。

(3) ゲームⅢの結果

全員がゲーム前は鎌倉駅周辺、ゲーム後は由比ガ浜駅周辺に避難したが、全員がゲーム前後共に安全度 5 の場所に避難できた。避難時間は平均 7.6 分 → 3.9 分、避難距離は平均 0.71 km → 0.30 km と短くなり、評価法①は平均 0.67 (／分) → 1.50 (／分)、評価法②は平均 7.2 (／km) → 17.5 (／km) となり、評価法①②共に被験者全員の評価が向上した。

評価が伸びなかった n は、避難先のゴール手前の交差点を曲がってしまい、遠回りしてのゴールになったためである。

5.6.2 アンケート調査の結果

事前・実験中・実験後のアンケート内容を表 9 に示す。Q4～Q12 は「1.全くそう思わない」「2.あまりそう思わない」「3.どちらでもない」「4.そう思う」「5.非常にそう思う」の 5 段階評価とした。

表 9 実験中・実験後のアンケートの内容

事前アンケート	
Q1	あなたは鎌倉の土地勘がありますか。
Q2	あなたは自分の住む地域のハザードマップを見たことがありますか。
Q3	あなたは自分の住む地域の津波避難経路マップを見たことがありますか。
実験中アンケート	
Q4	避難するのに 8 分あれば十分だと感じましたか。
Q5	避難場所までスムーズにたどり着きましたか。
実験後アンケート	
Q6	各タワー・スポットをタップした際に画面上の写真から実物を確認しましたか。
Q7	各タワー・スポットをタップした際にテキスト情報を読みましたか。
Q8	各タワーで入口を確認しましたか。
Q9	タワーやスポットを回することで、地域の危険または安全な場所を理解できましたか。
Q10	タワーやスポットを回することで、津波避難のシミュレーションになりましたか。
Q11	ゲームを通して防災に関する意識・関心が高まりましたか。

(1) 実験中アンケートの結果 (図 10)

ゲームⅠ・Ⅱにおいては、ゲーム後に概ねスムーズに避難できた (Q5) という回答が多くみられるが、8 分避難 (Q4) に関しては、バラツキが目立ち、低い評価となった。ゲームⅠで避難ビルに隣接する建物に避難した g は、その現実気づいていないため、非常にスムーズに避難できたと答えている。ゲームⅡにおいて、評価を下げた d は避難距離が約 2 倍に

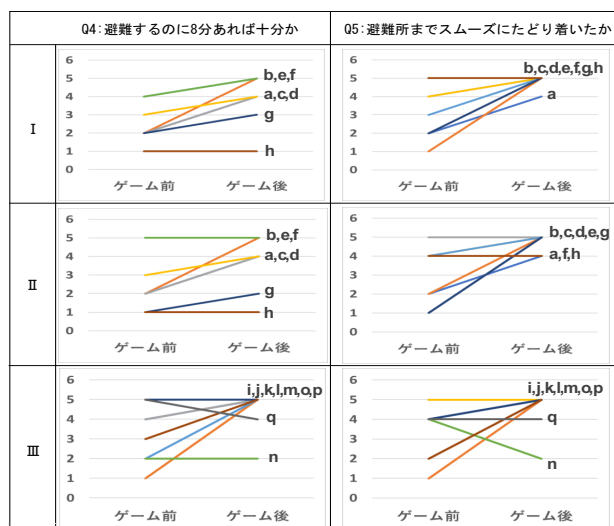


図 10 実験中アンケートの結果

なったが、8 分避難時と同じ経路を選び最終的には時間内に避難できているため、Q5 では非常にスムーズに避難できたと答えている。同じく、評価を下げた f は時間切れとなったが、避難ビルの目の前まで辿り着いているためか、Q4 「4.そう思う」、Q5 「5.非常にそう思う」と答えている。

ゲームⅢでは、ほとんどの評価が高い上昇をみせる中、低評価を付けた n は、避難先のゴール手前の交差点を曲がり、遠回りした自覚があるためか、Q4・5 共に「2.あまりそう思わない」と答えている。

(2) 実験後アンケートの結果

「4.そう思う」「5.非常にそう思う」の合計で見ると、Q6 は約 82%、Q7 は約 65%、Q8 は約 53%、Q9 は約 64%、Q10 は約 82%、Q11 は約 76% となり、相対的には Q8 の「各タワーで入口を確認」が低い結果となった。Q6 で実物の建物を見ている被験者は多いため、入口の確認まで誘う工夫が求められる。

5.7 小結

以上、津波避難専用型ゲームアプリの実装及び試行により、以下の知見を得た。

- ・ゲーム前後に行った 8 分間の避難行動の比較からは、ゲームによって各人の避難行動が一定程度改善されることが明らかになった。
- ・8 分間避難の経路を観察すると、①ゲームで学習

した避難場所に同じ経路で同じ避難場所に向かう
②ゲームで学習した避難経路を通るが異なる避難
場所に向かう③ゲームで学習した経路とは異なる
経路を選択し、異なる避難場所に向かう、の3パ
ターンが見られた。

- ・パターン①②は高い割合でゴールに辿り着くが、
ゴール付近の交差点で選択ミスするケースが見ら
れたため、紛らわしい交差点にはスポットを配置
する等の工夫が求められる。
- ・津波避難ビルの隣接建物を避難場所と記憶し、誤
った学習をする事もあるため、実際の避難ビルと
入口位置を併せて記憶する工夫が必要である。

6. 考察

対象となる一つのタワー・スポットに対して、津
波による想定浸水深さのみをポイント化した「津波
避難専用型」と異なり、地震・津波・土砂・火災の
4つの被害レベルをポイント化した「災害ミックス
型」は、地震には弱い土砂には強いと表示される
場所もあるため、知った後の避難行動に結びつかず
アプリによる明確な効果を得られなかった。災害時
の避難行動が明確な地域であれば専用型で良いが、
地域によっては災害が複合化するため、地震→土砂
災害、地震→火災等、時系列シナリオを想定した避
難行動に結びつく画面表示にする必要がある。

一方、「津波避難型」はゲーム前後の避難行動の比
較から、避難時間の短縮に一定の効果が見られた。
しかし、ゲームによる学習と異なる避難経路を選択
して時間切れになるケースや、間違った学習による
記憶違いも見られた。紛らわしい交差点等は、土地
勘のある地元住民だからこそ分かる立地的・意味
的特性があると思われるため、地図作成の入力と位置
情報ゲーム学習をセットで運用する仕組みが必要で
ある。具体的には地域行事への組み込みが考えられ
るが、その際は専門家の科学的知見をもとに選定さ
れる公共性の高い「タワー」と地域の集合知から選
定される「スポット」の関連付けが肝要となる。

7. まとめ

本研究では、まず、地域のハザードマップ等の情
報から防災拠点を抽出し、それらの緯度・経度、防
災特性ポイント、画像、防災情報をゲーム要素化し、
小規模なサーバーでも運用可能な位置情報ゲームア
プリの共通プラットフォームを開発した。続いて、
「災害ミックス型」「津波避難専用型」アプリを使っ
た位置情報ゲームの実証実験を通じて、開発したア
プリの改善点を把握した。

今後は、土地勘のある地域住民を対象とした実証
実験を通じて、防災教育効果を図る必要がある。そ
の際、老若男女による地図作成を容易とするインタ
ーフェイスの開発も合わせて行う予定である。

謝辞

ゲーム開発に多大なるご協力を頂いたアメニティ
デザイン・プランニング有限会社の橋本博忠氏ほか
関係者の皆様に深く感謝いたします。なお、本研究
は公益財団法人中山隼雄科学技術文化財団の研究助
成によるものである。

【参考文献】

- [1] 小林隆史,平野昌:図上訓練 DIG について,地域
安全学会論文報告集(7),pp.136—139(1997)。
- [2] 逃げ地図ウェブ,日建設計ボランティア部公式ウ
ェブサイト:<http://www.loto-lab.com/ngczweb/>
(2022年3月14日現在)
- [3] 矢守克也:ゲームで学ぶ生涯防災学習,計測と制
御 第46巻第1号,pp.58—63(2007)。
- [4] 静岡県地震防災センター公式ウェブサイト:
[http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/st
udy/hinanjyo-hug.html](http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/study/hinanjyo-hug.html)(2022年3月14日現在)
- [5] 杉山高志,矢守克也:津波避難訓練支援アプリ「逃
げトレ」の開発と社会実装—コミットメントとコ
ンティンジェンシーの相乗作用,実験社会心理学
研究 第58巻第2号,pp.136—146(2019)。
- [6] ロジェ・カイヨワ,遊びと人間,講談社学術文
庫,1990。
- [7] 鎌倉市公式ウェブサイト:
[https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougo
ubousai/tunamikeikaku.html](https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougo-ubousai/tunamikeikaku.html)(2022年3月14日
現在)

著者紹介：



信太 洋行 (Hiroyuki SHIDA)

武蔵工業大学大学院工学研究
科建築学専攻修士課程修了
新日軽株式会社（現・株式会
社LIXIL）

東京大学生産技術研究所助教
を経て、2013年より現職。
専門は建築構法、外皮設計等。



小見 康夫 (Yasuo Omi)

東京都市大学 建築都市デザイ
ン学部 教授。専門は、建築構
法、建築生産。