公益財団法人国土地理協会　2020 年度研究助成報告書
なぜスマホ地図を使うと道が覚えられなくなるのか：地図使用時のアイトラッキングを通した認知メカニズムの検討

関西学院大学　杉本匡史

目次

目的.....3
方法.....5
参加者.....5
実験実施場所.....5
実施課題.....5
個人特性.....5
空間スキル測定課題.....6
経路移動課題.....6
シーン再認課題.....7
自信度評定課題.....8
地図描画課題.....8
手続き.....8
結果.....8
基礎データ.....8
個人特性.....8
条件間比較.....10
経路移動課題.....10
考察.....12
結果のまとめと考察.....12
本研究の限界.....14
今後の展開.....14
引用文献.....15

目的

ユビキタス情報社会が到来し、デジタル機器が人間の認知を代行しつつある。それらのデジタル機器の中でもスマートフォンを用いて呈示される地図(スマホ地図)は広く普及した移動支援システムだと言える。

ゼンリン(2018)によれば、1 年以内にスマホ地図を利用した人の割合は 48.8%、スマートフォン用位置情報サービス・アプの使用率は 26.9%である。これらの割合は 2016 年から増加傾向にあり、紙の地図や PC 用インターネット地図の使用率が減少傾向にあるのと対照的な結果になっている。実際に道に迷ったときにもスマホ地図は高い頻度(62.0%)で使用され、これはパソコン地図を印刷したもの(34.6%)や、カーナビ(37.7%)を大きく上回っている。またスマホ地図の使用率は低年齢層ほど高く、今後さらに上昇することが予測される。

スマホ地図の高い使用率の背景にある要因として様々なものを挙げることができる。まず紙の地図と比較したスマホ地図の特徴として挙げることができるのが、高い携帯性と、それによるアクセスの容易さである。常に持ち歩くスマホを通して地図にアクセスできるため、前もって行きたい場所までの地図を用意しておく必要がなく、様々な場面において好きなタイミングで地図を使うことを可能にしている。また紙の地図にはない多種多様な機能もスマホ地図の特徴である。現在地の表示、目的地までの経路の選択、所要時間の予測、縮尺の自由な変更、ユーザの向いている方向に自動的に地図を調整することなど、スマホ地図は多くの機能を備えている。これらの特徴によってスマホ地図は空間情報を動的、効率的にユーザに呈示し、経路探索を支援することが可能である。そのため、既存のスマホアプリにとどまらず、工学分野において、スマホ地図に様々な機能を付加することでユーザの正確で効率的な移動を可能にする地図の開発が目指されている(例：高田・渡邉, 2014)。

ユーザの側から見たスマホ地図の特徴は、移動者がこれまで自力で行っていた認知(例:現在地の判断、進行方向の決定など)を、地図が支援・代行することである。従来はユーザが地図と周囲の環境を照合して現在地を判断し、目的地までの取りうる経路をリストアップしてその中から一つを選択し、移動中には自身の位置をモニタリングし、移動に合わせて更新するという認知を行っていた。スマホ地図を用いれば、これらのプロセスをユーザ自身が行うことなく、地図任せで目的地に到達することが可能になる。その意味で、スマホ地図は紙地図に対し質的に異なっており、SAMR モデル(Puentedura, 2013)においても単に紙地図の Substitution(代替)や Augmentation(増強)ではなく、Modification(変容)や Redefinition(再定義)の域に達していると言える。

スマホ地図が空間認知において果たす役割は、インターネット経由の情報検索でのコンピュータに相当する位置づけだということができるが、そこではコンピュータに記録した情報がユーザに記憶されにくいこと(記憶構築の阻害)や、コンピュータで検索した情報を自身の知識だと誤解すること(自身の記憶の過大評価)が知られている(Sparrow et al., 2011; Wegner & Ward, 2013)。

このようなデジタル機器によるユーザへの悪影響のうち、実社会においてスマホ地図と関連するものとしてはカーナビへの依存による交通事故の発生を例として挙げることがで

きる。実際にスマホ地図やカーナビと関連するとされる事故は、ミニバイクの高速道路進入(2018 年大分市)、カーナビの指示に従って急な U ターンを行い衝突(2019 年京都市)、自動車が通行できない道路に侵入して立ち往生(2019 年イタリアサルディーニャ島)など、国内外を問わず様々な形で生じている。

それ以外にスマホ地図によって生じる問題として複数の先行研究が指摘するのが、記憶構築の阻害である。例えば、移動支援システムがユーザの注意を分割してしまうことによって、空間に対する記憶成績が低下することが示されている(Gardony et al., 2013)。また実空間の移動時においても、GPS を搭載した携帯電話の地図は、紙の地図や直接の移動経験と比較して空間記憶の構築を阻害する可能性が指摘されている(Ishikawa et al., 2008)。紙地図使用時と比較したスマホ地図使用時の認知プロセスの差として、進行方向に対する意思決定の有無が空間記憶に影響していることを示す研究も存在する(Bakdash et al., 2008)。

Sugimoto et al (2021)は実際の市街地において実験を行い、参加者にスマホ地図、もしくは紙地図を用いて目的地まで移動させた。参加者は目的地にたどり着いた直後に、移動経路をどの程度正確に記憶できたかの自信を自己評定し(主観的経路記憶)、さらに地図を使わずに経路を逆順で移動するよう教示された(客観的経路記憶)。また並行して参加者の方向感覚や空間不安の測定を行った。これらの課題を通して、使用する地図が経路記憶にどのように影響するかを測定し、さらにユーザの方向感覚との関連を検討した。実験の結果、スマホ地図を使用した場合、ユーザは正確に経路を移動することができたが、その直後の逆順移動での成績は低かった。それとは対照的に、紙地図を使用した場合、ユーザは地図なしでも比較的正確に経路を移動することができた。また、スマホ地図を使用した場合、実際に経路を正確に移動できておらず、客観的記憶が低下しているにもかかわらず、主観的記憶である経路の記憶に対する自信の強さは紙地図と比較して有意差が見られなかった。また、スマホ地図を使用した場合、経路探索時にスマホ地図を頻繁に操作するほど、客観的記憶成績の低下が顕著であった。これらの結果は、(1)スマホ地図を用いた場合、紙地図と比較して移動経路記憶成績が低下すること(客観的な経路記憶の低下)、(2)この記憶成績の低下は必ずしもユーザに自覚されていない可能性があること(主観的記憶への影響は見られない)、(3)スマホ地図に依存し、頻繁にそれを使用することが記憶低下と関連していることを明らかにしている。

スマホ地図が単に紙地図と比較して記憶成績を低下させるだけでなく、スマホ地図をどのように用いるかということも記憶成績低下に影響するというこの結果は、スマホ地図ユーザの地図使用方略が空間記憶に与える影響が存在する可能性を示唆している。実際に、神経科学領域においては、方略は空間記憶の構築に影響を与えることが知られている。例えば空間方略(空間内のランドマークの位置を把握するという方略)ではなく、反応方略(特定の地点での進行方向教示に従うという受動的方略)を習慣的に使用すると、空間記憶に重要な役割を果たす海馬ではなく、フィードバック処理にかかわる尾状核が増大することが知られている(Bohbot et al., 2007)。この結果は、用いる方略が単に特定の空間の記憶の正確さに影響するだけでなく、その人の能力にまで影響をあたえうることを示しており、空間認知

における方略の重要性を示唆している。

移動時の方略が経路記憶に与える影響については先行研究で検討されており、2 つの間の関連が示唆されている(例えば Kato & Takeuchi, 2003)。この研究では参加者に実空間内を移動させ、そこで用いている方略について言語報告を行わせている。しかしこの研究は地図使用場面を対象としておらず、地図とユーザとのリアルタイムでのインタラクションがどのように行われているのかは明らかにされていない。また方略の測定方法に発話思考法を用いているため、使用される方略のうち言語化しにくいごく短時間のものや無意識的なものについては測定が難しいという欠点が存在する。

これらの先行研究を踏まえ、本研究では、スマホ地図を用いた経路探索において、地図ユーザがどのような方略を用いてどのように行動しているのかを、経路探索中のオンライン測定が可能な眼球運動測定を用いて明らかにする。それによって、スマホ地図への依存が経路記憶成績低下となぜ、どのように関連するのかについて考察し、デジタル機器による認知の支援がどのようにあるべきかについての示唆を得ることを目指す。

方法

参加者

22 名の大学生・大学院生(19〜29 歳、平均年齢 21.6 歳)が実験に参加した。参加者のうち 13 名が男性、9 名が女性であった。参加者は大学のアルバイト募集掲示板経由で募集し、眼鏡を使わずに日常生活を送れることを参加条件とした。参加者に対しては実験終了後に謝礼として図書カード 3000 円分を支払った。

実験実施場所

京都市内の住宅街(京阪丹波橋駅付近)において実験を実施した。実験場所は一戸建てや低層マンションが立ち並ぶ住宅街であり、経路内のほとんどの地点において、遠くからでも目印になるようなランドマークは見えなかった。参加者のうち、日常的に実験実施場所を訪問するものはいなかった。

実施課題

個人特性

参加者の個人特性として、方向感覚、方略、空間不安、地図使用経験を測定した。これらの課題は実験実施日までに参加者に Google forms の回答フォームのリンクを送付し、自宅で回答するように求めた。

方向感覚については Santa Barbara Sense of Direction Scale (SBSOD; Hegarty et al., 2002) を用いた。SBSOD は「道案内の説明をするのがとても得意だ」「物をどこに置いたかをよく忘れる」「距離の判断をするのがとても得意だ」などの 15 項目から構成される 7 件法のリッカート尺度であり、大規模空間における空間認知研究で幅広く用いられている。方向感覚が高いほど点数が 7 に近づき、低いほど 1 に近づくように数値化した。

方略の測定には Wayfinding Strategy Scale (Lawton, 1994)を用いた。Wayfinding Strategy Scale はサーベイ方略(3 項目)とルート方略(3 項目)の 2 因子で構成され、回答者が移動時に

それぞれの方略をどの程度用いるかについて 7 件法で回答する。それぞれの方略を使用する程度が強いほど点数が 7 に近づき、弱いほど 1 に近づくように数値化した。

空間不安の測定には Wayfinding Anxiety Scale (Lawton & Kallai, 2002) を用いた。Wayfinding Anxiety Scale は「知らない街や町の電車/バス/地下鉄の駅や駐車場から出て，どちらの方向に歩くかを決めること」「街のよく知らない地区で、待ち合わせの場所への道を探すこと」といった合計 8 項目の様々な場面において感じる不安の強さを 5 段階で評定させる質問紙で、不安の程度が強いほど点数が 5 に、弱いほど 1 に近づくように数値化した。

地図使用経験では、カーナビ、歩行者ナビ(スマホ地図を含む)、紙地図のそれぞれについて、使用頻度と使用経験の長さを 7 件法で測定した。得点が 1 に近づくほど程度が低く、7 に近づくほど程度が高くなるように得点化を行った。

空間スキル測定課題

空間スキル測定課題では、心的回転課題(Ekstrom et al., 1976)、パースペクティブテイキング課題(Hegarty & Waller, 2004)、コルシブロック課題(Title & Corsi, M, 1972)を実施した。

心的回転課題は 8 つの画像のそれぞれが基準画像と同じか異なるかを問う 10 項目の課題で、画像を精神的に回転させる能力を評価するものである。参加者は、各項目に対して正答した場合は 1 点加算され、誤答した場合は 1 点を引かれた。課題の制限時間は 3 分であった。

パースペクティブテイキング課題では、参加者は 12 個のオブジェクトが描かれた画像を呈示され、その中の 1 つの位置に立って、別のオブジェクトの方を向いているところを想像するように教示された。その状態で、参加者は第 3 のオブジェクトがどの位置にあるかを回答した(例：あなたは信号機のところにいてネコの方を向いています。車はどちらの方向にありますか?)。回答用紙には円とその中心から真上に伸びる矢印が描かれており、参加者は第 3 のオブジェクトがある方向を、円の中心から矢印を引いて回答した。参加者の回答は、正解からの確度のズレの大きさで測定された。制限時間は 12 問で 5 分であった。パースペクティブテイキング課題は、ある光景が異なる視点からどのように見えるかを想像する能力を評価するために実施した。

コルシブロック課題は、PC 画面上に示された複数の四角の枠の中にランダムな順序で表示される丸の位置を記憶し、直後にその丸が表示された順序を回答した。コルシブロック課題は短期的な空間記憶容量を測定するために実施した。

経路移動課題

経路移動課題では、参加者は指定された経路をスマホ地図もしくは紙地図のいずれかを用いて移動した。スマホ地図は Google maps を用いて、紙地図は A4 用紙に Google map を印刷して参加者に提示した。課題実施前に参加者に対して、「渡した地図の経路に従って移動すること」「ゴールにたどり着いた後に、この道を知らない人がスタートからゴールまで移動できるような地図を描いてもらうこと」「実験者はあなたの後ろについて移動するが、

移動中はいないものとして扱ってもらい、移動中は目的地や道順についての質問にも答えられないこと」「目的地にたどり着いたと思ったら、実験者にその旨を知らせること」を教示した。また安全確保のため、歩きながら地図だけを見ることは危険であり、気を付けて移動するように教示した。課題に制限時間はなく、参加者は自身の移動ペースで課題を実施した。

移動経路は図 1 に示した。経路はいずれも約 1.8 ㎞で地図上に明示されており、進行方向については実験者が教示を行った。移動時には実験者が安全確保のために参加者の後ろについて移動したが、移動中の参加者に対して指示は行わず、経路についての質問があった場合も回答しなかった。経路全体の移動時間には個人差があるが、おおむね 20 分から 25 分程度であった。経路は A と B の 2 種類設定し、経路 A をスマホ地図を用いて移動した参加者は経路 B を紙地図を用いて移動した。なお、実験実施期間中に何らかの理由で経路 B の一部が Google maps 上で移動不可能だと判断されるようになってしまい、経路 B が再現できなくなったため、経路 C を設定して経路 B の代わりに使用した。

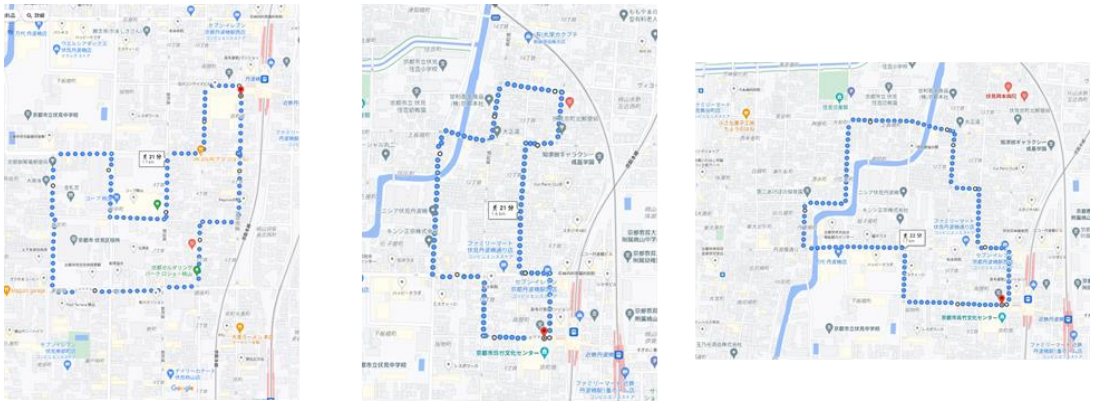

図 1　実験で使用した 3 種類の経路(左：経路 A、中央：経路 B、：経路 C)

経路移動課題の実施中は、参加者は Pupil Invisible (Pupil Labs 製)を装着して課題に取り組んだ。Pupil Invisible は眼鏡型のアイトラッキングデバイスであり、装着者の視野を記録するためのビデオカメラ(1088×1080px)と、参加者が視野内のどこに注視しているかを記録するためのセンサーとを搭載していた。人間は自身の視野の全領域に対して同レベルの処理をしているのではなく、中心視野に対して注意資源を割り当て、高い精度での視覚情報処理を行っている。そのため、書籍のような視野に占める割合が必ずしも大きくない刺激に対しても注視点を移動させることで情報を収集している(例えば Tanaka et al., 2014)。ビデオカメラの視野角は縦横の両方についておよそ 70 度であり、視野をほぼカバーしていた。記録された視野と注視点の動画ファイルは、Pupil Invisible に接続されたスマホ(OnePlus 6)に記録された。また Pupil Invisible は参加者に対する装着負荷が極めて低く、自然な状況でのデータ収集が可能であった。

シーン再認課題

シーン再認課題では、参加者に移動経路上であらかじめ撮影した写真 11 枚と、移動経路とは別の地点で撮影した写真 11 枚を呈示し、それぞれの写真の場所を見たかどうかについ

て 4 段階(1：間違いなく見ていない～4：間違いなく見た)で評価させた。シーン再認課題はタブレット PC を用いて Google forms 経由で実施した。

自信度評定課題

自信度評定課題では、「先ほど移動した道を、地図を使わず自力で正確に移動できる確率は何%程度ですか?」という教示を行い、自身の経路記憶に対する主観的評価の程度を測定した。自信度評定課題も、シーン再認課題同様にタブレット PC を用いて Google forms 経由で実施した。

地図描画課題

地図描画課題では、移動した経路の地図を A4 用紙上に描画させた。課題実施前に、「先ほど移動した経路にはスタート・ゴールを除いて曲がり角が 11 か所あったこと」「すべての曲がり角を地図中に記入すること」「東西南北や曲がり角の位置、道の長さを正確に記入すること」「途中のランドマーク(お店や建物といった目印)は記入する必要がないこと」「紙の向きは縦横どちらでも構わないこと」「制限時間はないこと」を教示した。

手続き

参加者は実験実施前日までに、Web 経由で個人特性質問紙に回答した。実験当日には参加者に対して実験の概要を説明し、実験実施場所を日常的に訪問していないことを確認してから実験を実施した。まず空間スキル測定課題を実施した後に Pupil Invisible を装着して経路移動課題を行った。経路移動課題終了直後にシーン再認課題、自信度評定課題、地図描画課題を行った。当日の実験に係った時間はおよそ 80 分程度であった。

なお本実験は、関西学院大学の「人を対象とする行動学系研究倫理審査部会」における承認を得たのちに実施している。

結果

基礎データ

個人特性

参加者の方向感覚、ルート方略、サーベイ方略、空間不安の基礎データについて表 1 に示した。方向感覚の国際比較データにおける日本の平均値が 3.6 であること(Montello & Xiao, 2011)を考えると、本研究の参加者は比較的方向感覚が高い方に偏っていることが明らかになった。

表 1　個人特性の基礎データ

	方向感覚	ルート方略	サーベイ方略	空間不安
平均	4.4	5.4	4.0	3.0
SD	1.5	1.4	1.7	1.1
最小値	2.3	3.3	1.3	1.1
最大値	6.4	7.0	7.0	4.4

方向感覚、ルート方略、サーベイ方略、空間不安のそれぞれの間の相関について表 2 に示した。方向感覚とサーベイ方略との間、方向感覚と空間不安との間、またサーベイ方略と空間不安との間に強い正の相関がみられた。これらの結果は先行研究(Lawton, 1994; Lawton & Kallai, 2002)の結果を追試している。

表 2　方向感覚、ルート方略、サーベイ方略、空間不安の間の相関

	方向感覚	ルート方略	サーベイ方略	空間不安
方向感覚	-	-.07	.83	-.75
ルート方略		-	.08	-.06
サーベイ方略			-	-.63

各タイプの地図の使用経歴の長さについて、表 3 に示した。スマホ地図を含む歩行者ナビについて、ほぼ全員の参加者が使用したことがあり、17 名の参加者が 3 年以上の使用経験を持っていた。その一方、紙地図を使用したことのない参加者が全体の 3 分の 1 を占めていた。しかし、10 名の参加者が 5 年以上紙地図を使用していることが明らかになった。このことからスマホ地図はほぼ全員が使用に習熟している一方、紙地図については長く使っている参加者と 1 度も使ったことのない参加者に二分される結果となった。

表 3　各タイプの地図の使用経歴の長さとその人数

	カーナビ	歩行者ナビ	紙地図
車の運転をしない	10	0	0
一度も利用したことがない	4	2	7
6ヵ月未満	0	1	3
6ヵ月～1年未満	2	0	1
1年～3年未満	5	2	1
3年～5年未満	1	6	0
5年～10年未満	0	11	4
10年～15年未満	0	0	5
15年～20年未満	0	0	1
20年以上	0	0	0

各タイプの地図の使用頻度について表 4 に示した。歩行者ナビについては参加者の約 3 分の 2 が毎週使用しているのに対し、紙地図を毎週使用する参加者は 1 名のみであり、紙地図の使用頻度の低さが明らかになった。

表 4　各タイプの地図の使用頻度とその人数

	カーナビ	歩行者ナビ	紙地図

1ヵ月のうち2～3日程度以下	8	8	21
1週間のうち1～2日	1	7	1
1週間のうち3～4日	0	4	0
1週間のうち5～6日	0	2	0
1週間のうち7日（毎日）	1	1	0

条件間比較

経路移動課題

実験実施時の機材トラブルのため、複数の参加者においてデータ(特に眼球運動データ)が欠損した。そのため本報告書においては、スマホ地図条件と紙地図条件の両方で眼球運動の測定が十分に行えた 10 名を対象に分析を行う。また分析対象データを個人特性と経路移動課題、地図描画課題に絞って報告する。

地図注視回数

参加者の地図使用回数については、アノテーションソフト ELAN(EUDICO Linguistic ANnotator; Max Planck Institute for Psycholinguistics 製)を用いて分析した。分析ではまず参加者が移動を開始した時点から、ゴールに到着した時点までの間を分析対象範囲とし、その間で地図に対して注視した回数を測定した。

スマホ地図条件と紙地図条件のそれぞれにおける地図注視回数の基礎データについて、表 5 に示した。スマホ地図条件と紙地図条件との間で注視回数の差について t 検定を行ったところ、条件間での差は非優位であった($t(9) = 0.20, p = .847$)。

表 5　スマホ地図条件と紙地図条件のそれぞれにおける地図注視回数

	スマホ地図	紙地図
平均	77.00	75.20
標準偏差	48.81	39.47
最小	24	33
最大	152	130

地図使用時間(絶対値)

分析対象範囲のうち、参加者が地図を注視した区間時間を測定した。地図注視時間は、Pupil Invisible を用いて測定した眼球運動データのうち、注視点を示す丸が地図と重なった時点を開始時刻とし、丸と地図が離れた時点を終了時刻とした。にスマホ地図条件と紙地図条件における地図注視時間のヒストグラムを示した。スマホ地図と紙地図の両方において、1 秒未満のごく短い注視から、10 秒を超える長い注視まで、幅広い時間の注視を参加者が行っていることが明らかになった。

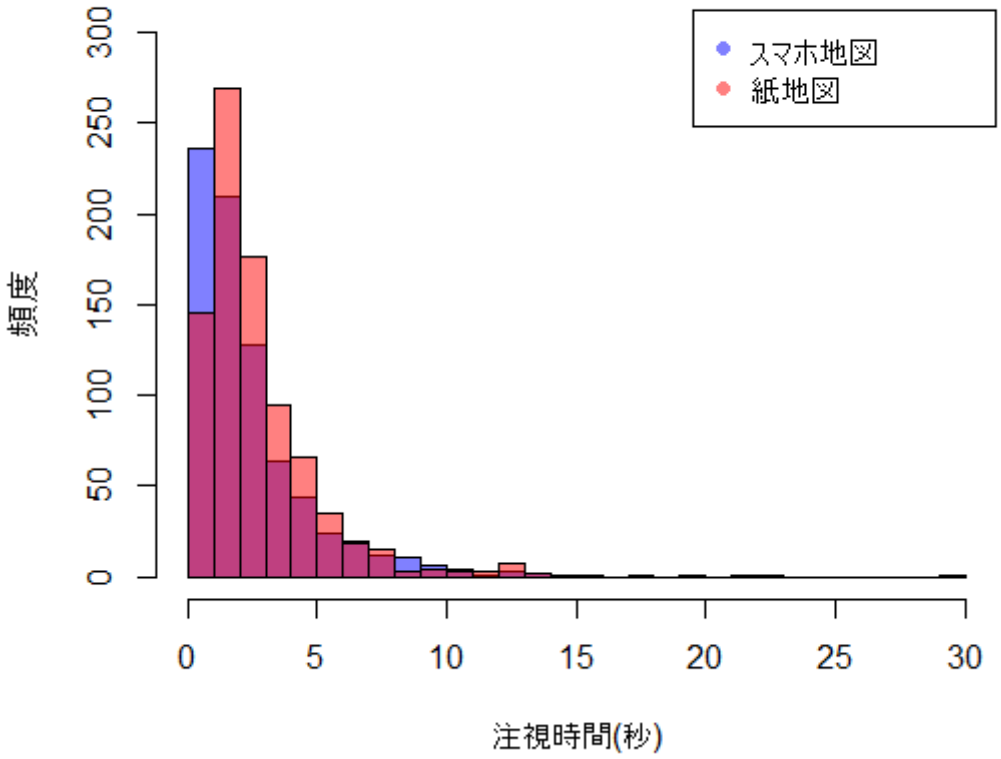

図 2　スマホ地図条件と紙地図条件における地図注視時間のヒストグラム

スマホ地図、紙地図条件ともに多くの注視は短い時間で行われていたが、一部の注視が長時間にわたって行われていることが明らかになった。そのため注視時間の分布が右側に歪んでおり、各参加者の注視時間として平均値を用いることが望ましくなかったため、中心値を用いて群間の比較を行った。スマホ地図条件と紙地図条件においてウィルコクソンの符号順位検定を行ったところ、群間に有意差が見られ、紙地図条件において注視時間が長くなった($p = .037$)。

地図注視時間(相対値)

各参加者に対して、分析対象範囲の長さを分母、地図注視時間の合計を分子として地図注視時間割合を算出した(表 6)。スマホ地図条件と紙地図条件との間で t 検定を行ったところ、平均地図注視割合に有意差はみられなかった($t(9) = 1.16, p = .276$)。

表 6　スマホ地図条件と紙地図条件における地図注視時間割合

	スマホ地図	紙地図
平均	8.36	7.09

標準偏差	5.22	3.29
最小	2.90	2.98
最大	16.99	11.64

地図描画課題

地図描画課題の分析には Gardony Map Drawing Analyzer (GMDA; Gardony et al., 2016) を用いた。GMDA はスケッチマップの正確さを分析するためのツールであり、それまでスケッチマップの正確さを測定するための指標として使用されてきた二次元相関だけでなく、ランドマーク間の距離や角度の正確さを指標化することができる。

GMDA での地図分析には、まず参加者が描画した地図上で基準となるランドマークを設定する必要がある。本研究での地図描画課題では、「経路にはスタートとゴールを除いて 11 個の曲がり角がある」という教示を行っているため、これらの 11 個の曲がり角に加えてスタート・ゴール(本実験ではスタートとゴールは同一地点である)を加えた 12 地点をランドマークとして設定した。

スマホ地図条件と紙地図条件における距離精度、角度精度、二次元相関の値を表 7 に示した。描画されたスケッチマップに関してこれらのスコアは高く、参加者は全体的に正確に課題を遂行した。各スコアに対してスマホ地図条件と紙地図条件との間で t 検定を行ったが、条件間でスコアに差はみられなかった。

表 7　スマホ地図条件と紙地図条件におけるスケッチマップの正確性

	スマホ地図	紙地図
距離精度	0.92	0.93
角度精度	0.92	0.94
二次元相関	0.93	0.96

考察

結果のまとめと考察

本研究では、スマホ地図の普及を背景に生じている可能性がある「スマホ地図による無意識的な空間記憶能力の低下」の原因を検討するため、地図使用中の眼球運動に注目した検討を行った。実験では実際の市街地を用いて、参加者にスマホ地図もしくは紙地図を用いて指定した経路を移動させ、その際の眼球運動を非侵襲的な手法で測定した。また移動後には地図描画課題を用いて経路記憶の正確さを測定した。これらの実験で得られた眼球運動データや、経路記憶データを用いて、スマホ地図と紙地図との間に生じる記憶成績の違いを検討した。

本研究における新しい知見は、(1)個人差はあるものの、参加者は 1.8 ㎞の経路を移動する間に平均して 70 回以上も地図を注視しており、その回数は最小 24、最大 152 と大きな

個人差があったこと、(2)参加者が紙地図条件において、スマホ地図条件よりも長い時間地図を注視していたこと、(3)スマホ地図条件において、参加者は紙地図条件よりも頻繁に 1 秒未満の短い注視を繰り返していたこと、の 3 点である。

(1)で示された頻繁な地図への注視から、地図は空間情報を一方的にユーザに提示するだけの静的なオブジェクトではなく、ユーザの状態に応じて様々な情報を動的に呈示する存在であると言える。また、大規模空間の認知には大きな個人差が存在すること(中村, 2011; 竹内, 1992)が知られているが、注視回数や注視時間といった、より基礎的な指標でもこの個人差が生じていることが明らかになった。先行研究(Kato & Takeuchi, 2003)における経路探索時の方略抽出には発話思考法が用いられており、どのような認知プロセスが用いられているかの解釈は容易であった一方、方略のリアルタイム性の厳密な検討は難しかった。本研究では眼球運動を用いた測定を行うことで、リアルタイムで生じている地図とユーザとのインタラクションの存在を示すことができた。

また地図注視時間に大きな多様性が見られたことは、1 回 1 回の注視が必ずしも同じ目的のために行われているのではない可能性を示唆している。例えば経路上の一本道の区間では、自身の位置を確認することを目的として地図に対するごく短い注視を行い、曲がり角を曲がった際には地図を長時間注視し、自身の選択した経路に間違いがないか確認するというようにである。スマホ地図の操作回数が増加すると経路の記憶成績が低下するという知見(Sugimoto et al., 2021)がある一方、地図とそれ以外の刺激(例えば文章)を組み合わせることで、対象の地理的な特徴の理解が促進されるとする研究(福屋, 2020)も存在するため、今後はどのような注視が学習を促進しどのような注視が学習を阻害するのかについての研究が必要になると考えられる。

(2)と(3)の結果を合わせて考えると、スマホ地図の場合の地図使用行動は、短い注視を頻繁に繰り返すというものであり、それに対して紙地図の場合の地図使用行動は長い注視を行うというものである。特に、図 2 から見て取れるように、スマホ地図条件においては 1 秒未満の非常に短い注視が頻繁に行われており、この点がスマホ地図を用いた経路探索と紙地図を用いた経路探索の違いであると考えられる。目的部分で述べたように、スマホ地図は紙地図と比較して経路記憶を低下させるという先行研究の知見が存在する。スマホ地図使用時における地図の頻繁な操作が経路記憶を低下と関連するという結果(Sugimoto et al., 2021)から考えると、スマホ地図はそれ自身が地図への頻繁な注視を促し、それによって注意分散(Gardony et al., 2013)や、主体的に空間と関わろうとする態度の低下(Bakdash et al., 2008)につながっている可能性がある。あるいは、空間認知に限定されないより広範な影響として、スマホが手元にあるだけ認知資源の低下(Ward et al., 2017)が生じ、短期間の間にスマホを頻繁に注視しなければ経路情報を内的に保持しておくことができない状態につながっていることも考えらえる。

これらのデータをもとに、本研究では用いる地図のタイプが方略の差を生み出していることを、眼球運動という実証データを用いて明らかにすることができた。

本研究の限界

本研究の限界点として、実験室で行う統制された実験ではなく、実空間を対象にした実験であるため、機材トラブルによって十分なデータを収集することができなかった点が挙げられる。特に個人特性との関連を分析するための相関分析を行うにはより多くの参加者が必要であり、今後データ数を増やして分析を行うことで、方向感覚と使用する地図との交互作用についても検討を行う。

また、注視時間の違いから、そこで行われている認知プロセスを推定するための分析が必要である。例えば日常生活において眼球運動測定を行った研究(Land et al., 1999)では、注視が持つ意味を、「後で使う物体を探す」「手や手の中の物体を新しい場所に向ける」「ある物体から別の物体への接近を導く」「ある変数の状態を確認する」の 4 つに分類しているが、地図使用場面についてもこのような基準を設けることができれば、眼球運動から移動者がどのような移動を行っているか(例：環境全体を把握しているか、特定の目印を探しているか、経路選択にどの程度の確信を持っているか)を明らかにすることができるだろう。本実験でのデータについても、参加者の現在地点が進行方向の判断・決定をする必要のない直線道路なのか、右左折・直進のいずれかを選択しなければいけない交差点周辺なのか、あるいは進行方向を決定した直後なのかといった、経路の性質の違いに注目した分析を行うことで、1 秒未満の短い注視や 5 秒以上の長い注視がどのような認知プロセスを反映したものなのかを今後明らかにする。

今後の展開

本研究の成果は眼球運動というリアルタイム指標が地図学習において持つ意味を明らかにすることで、ユーザの行動をオンラインでサポートすることのできる移動支援デバイスの開発に活用できると考えられる。特に地図ユーザが自身の特性を十分に把握できていない場合、眼球運動のような非言語的指標は、ユーザにとっての最適な使用モデルの提案にもつながる可能性がある(中村, 2011)。

またスマホ地図ユーザの認知メカニズムに関する本研究の成果は、移動時の意思決定を電子デバイスが補助・代行しつつある中で、将来的にどのように地図をデザインすべきかという課題の解決に資すると考える。また、空間スキルと STEM(科学・技術・数学)科目の学業成績との関係が指摘される中、本研究で得られた知見は、空間スキル向上を通じた STEM 科目の学業成績向上策の検討(Uttal & Cohen, 2012)や、さらには STEM におけるジェンダーギャップ(Beede et al., 2011)の縮小にも役立つと期待される

引用文献

Bakdash, J. Z., Linkenauger, S. A., & Proffitt, D. (2008). Comparing decision-making and control for learning a virtual environment: Backseat drivers learn where they are going. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *52*, 2117–2121. https://doi.org/10.1177/154193120805202707

Beede, D., Julian, T., & Langdon, D. (2011). Women in STEM : A Gender Gap to Innovation. *U.S. Department of Commerce, Economics and Statistics Administration*, 1–11. https://doi.org/10.2139/ssrn.1964782

Ekstrom, R. B., French, J. W., & Harman, H. H. (1976). *Manual for kit of f actor-referenced cognitive tests*. Educational testing service.

Gardony, A. L., Brunyé, T. T., Mahoney, C. R., & Taylor, H. A. (2013). How navigational aids impair spatial memory: Evidence for divided attention. *Spatial Cognition and Computation*, *13*(4), 319–350. https://doi.org/10.1080/13875868.2013.792821

Gardony, A. L., Taylor, H. A., & Brunyé, T. T. (2016). Gardony Map Drawing Analyzer: Software for quantitative analysis of sketch maps. *Behavior Research Methods*, *48*(1), 151–177. https://doi.org/10.3758/s13428-014-0556-x

Hegarty, M., Richardson, A. E., Montello, D. R., Lovelace, K., & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence*, *30*, 425–447. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00116-2

Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, *32*, 175–191. https://doi.org/10.1016/j.intell.2003.12.001

Ishikawa, T., Fujiwara, H., Imai, O., & Okabe, A. (2008). Wayfinding with a GPS-based mobile navigation system: A comparison with maps and direct experience. *Journal of Environmental Psychology*, *28*(1), 74–82. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2007.09.002

Kato, Y., & Takeuchi, Y. (2003). Individual differences in wayfinding strategies. *Journal of Environmental Psychology*, *23*(2), 171–188. https://doi.org/10.1016/S0272-4944(03)00011-2

Land, M., Mennie, N., & Rusted, J. (1999). The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception*, *28*(11), 1311–1328. https://doi.org/10.1068/p2935

Lawton, C. A. (1994). Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex Roles*, *30*, 765–779. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/BF01544230

Lawton, C. A., & Kallai, J. (2002). Gender differences in wayfinding strategies and anxiety about wayfinding: A cross-cultural comparison. *Sex Roles*, *47*, 389–401.

Montello, D. R., & Xiao, D. (2011). Linguistic and cultural universality of the concept of

sense-of-direction. *Egenhofer M., Giudice N., Moratz R., Worboys M. (Eds) Spatial Information Theory. COSIT 2011. Lecture Notes in Computer Science, Vol 6899.*, 264–282.

Puentedura, R. R. (2013, May 29). SAMR: Moving from enhancement to transformation [Web log post]. Retrieved from http://www.hippasus.com/rrpweblog/archives/000095.html

Sparrow, B., Liu, J., & Wegner, D. M. (2011). Google effects on memory: Cognitive consequences of having information at our fingertips. *Science*, *333*(6043), 776–778. https://doi.org/10.1126/science.1207745

Sugimoto, M., Kusumi, T., Nagata, N., & Ishikawa, T. (2021). Online mobile map effect: how smartphone map use impairs spatial memory. *Spatial Cognition and Computation*
, 1–23. https://doi.org/10.1080/13875868.2021.1969401

Tanaka, T., Sugimoto, M., Tanida, Y., & Saito, S. (2014). The influences of working memory representations on long-range regression in text reading: an eye-tracking study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*(September), 1–8. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00765

Title, S., & Corsi, M, P. (1972). *Memory and the medial temporal region of the brain*.

Uttal, D. H., & Cohen, C. A. (2012). Spatial Thinking and STEM Education. When, Why, and How? In *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory* (Vol. 57). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394293-7.00004-2

Ward, A. F., Duke, K., Gneezy, A., & Bos, M. W. (2017). Brain drain: The mere presence of one's own smartphone reduces available cognitive capacity. *Journal of the Association for Consumer Research*, *2*(2), 140–154.

Wegner, D. M., & Ward, A. F. (2013). How Google is changing your brain. *Scientific American*, *309*(6), 58–61.

中村奈良江. (2011). 方向感覚の違いによるカーナビゲーションの利用状況. 西南学院大学人間科学論集, *7*(1), 59–73.

福屋いずみ. (2020). 中学生は地理教材の文章と地図をどのように見ているのか: 眼球運動測定による検討. 広島大学大学院人間社会科学研究科紀要「教育学研究」, *1*, 713–720.

竹内謙彰. (1992). 方向感覚と方位評定, 人格特性及び知的能力との関連. 教育心理学研究, *40*(1), 47–53. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5926/jjep1953.40.1_47

高田百合奈 ・ 渡邉英徳. (2014). 道しるべMap: ユーザターゲティング型地図ナビゲーションシステムの開発.
日本バーチャルリアリティ学会論文誌, *19*(3), 387–395.