4　自　主　研　究

介護予防および過疎地域におけるパーソナルモビリティに関する研究

Study on Personal Mobility in Rural Areas and Preventive Care

李　虎奎　　赤澤康史　　原　良昭　　北川博巳
LEE Hokyoo, AKAZAWA Yasushi, HARA Yoshiaki, KITAKAWA Hiroshi

キーワード：
パーソナルモビリティ、下肢、運動障害、身体負担、運動療法、公共交通
Keywords:
Personal Mobility, Lower Limb, Motor Impairment, Physical Load, Exercise Therapy, Public Transport

Abstract:
Many elderly people don't go outside so often because of physical motor impairment and inconvenience of public transport. One of the reasons, it is difficult to access public transport services by a personal mobility.

From such a background, we suggest a four-wheel type electric power-assisted personal mobility for care prevention. In order to check the performance of mobile support equipment, we have experimented for three healthy elderly subjects (male 1 and female 2) using this equipment. The purpose of this experimental is to evaluate the physical load of user by the oxygen uptake values while they are running at Ochikata area (the roadway grade 0.9% course and the roadway grade 6% slope course) of Sasayama city, one of rural area in Hyogo prefecture. The new personal mobility has been suggested that elderly people support to health maintenance, public transport access and go outside. These results can be used for the development of new mobility equipment and method for improve physical ability of the elderly.

1　はじめに

高齢社会では、身体的運動能力が低下した高齢者や身体障害を有する人が日常生活を制限された結果として生活の質（Quality of Life: QOL）の低下を来たすことが懸念される。

加齢は生物学的な老化現象を伴い、身体機能が低下し、長時間・長距離の自立歩行が困難になってくる。この身体機能の低下による移動能力の低下は、これまで保たれてきた社会活動への参画に支障を来し､生活の自立性を損ねていく可能性がある。また、移動能力の低下は社会活動への参画を困難にし、老年期の生活の質の低下を招く大きな要因となる。

高齢者が安全･安心な生活を確保し、健康を維持･増進させるためには、適切な運動やアクティビティの拡大が不可欠であり、それを実現するためには、健康維持のための運動と移動の容易性の確保が重要な要素である。

アクティビティの拡大を促すために、従来の公共交通と連携できる利便性・柔軟性を有する新たなモビリティが有効である。一般に市販されている移動支援機器にはシニアカー、先進技術を用いた電動車両、搭乗型移動ロボットなどがある。これらのモビリティは、巧みな制御により搭乗者の操作負担を低減し、２輪車や自動車に乗れなくなった高齢者や身体障害者の生活移動の面では有効である。しかし、一方では、シニアカーは、基本的に下肢を動かすことなく移動する機器であり、下肢機能が少しでも残っている場合は、下肢機能維持の観点からは移動支援機器として必ずしも適切とは言えない。また、高齢者の健康を維持・増進させるための運動を阻害するとも言える。

これらの背景を踏まえ、本研究では、歩行機能が低下した高齢者等の外出を支援するために、下肢の

運動をしながら、安全・安心かつ身体的負担の小さい４輪型電動アシスト式移動支援機器（以下、４輪車と記す）の研究開発を行っている[1)]。実用化に際し、過疎地域における高齢者および歩行困難者の①パーソナルモビリティ環境の改善に有効であるか否か、②アクティビティによる身体的負担（運動量）が健康維持・増進にどのような影響をおよぼすのかなどを知ることが重要である。本稿では、フィールドで行った実証試験による装置の評価及び利用者の安全性などについて検討を行った結果を報告する。

２　実証実験のフィールドと評価方法

2.1　実証実験のフィールド

本研究では、兵庫県篠山市遠方（おちがた）地区を中心的なフィールドとし、実証実験を行う。

篠山市遠方地区の基準点測量の標高は150mから165mである。篠山市遠方地区の地図を図１に示し、人口統計を表１に示す。

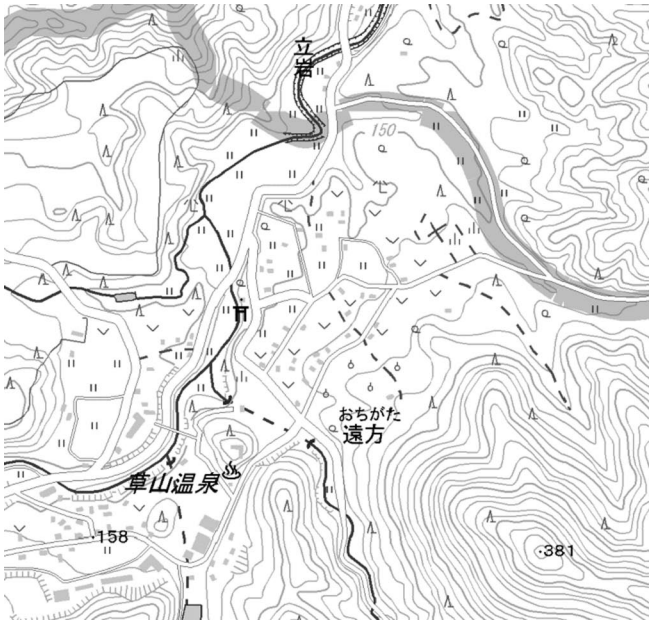


図１　篠山市遠方地区の地図[2)]
Fig.1　Map of Ochikata area Sasayama City [2)]

表１　篠山市遠方地区の人口統計
Table 1　Demographic chart of Ochikata area Sasayama City

	2010 年度
人口総数	197 人
男	97 人
女	100 人
世帯総数	89

2.2　評価方法

本研究では、高齢者、歩行困難者が日常生活環境で円滑な移動を行う際、運動療法で推奨されている運動量（身体的負担）を勘案し、電動アシスト４輪車における合理的な駆動アシスト力を定量的に求め､ユニバーサルデザイン政策[3)]で謳われている「だれもが安全で暮らしやすいまちづくり」のための移動支援機器を構築する。そのため、当過疎地域に居住している高齢者および歩行困難者の公共交通の拠点までのアクセスと日常生活活動範囲を検討する。具体的には下記の２点に関する実験を行う。

1．走行速度は、身体運動における生理的な負荷や運動強度の尺度となる。したがって、それらを計測することにより、被験者の運動能力を客観的に評価することが可能である。
2．身体運動時の酸素摂取量は、体力や健康に関する重要な体力指標として位置づけられている[4)]。酸素摂取量を計測し、運動強度を客観的に評価する。

３　フィールド実験

3.1　被験者

本実験の遂行にあたり、兵庫県立福祉のまちづくり研究所の倫理審査会の承認を得た。実験に参加を希望して応募した被験者には実験内容を十分に説明し、インフォームド･コンセント（informed consent）に基づいて実験を行う

被験者３名は病歴がない高齢男性１名、女性２名（平均年齢69±４歳、平均体重59±７kg、平均身長158±８㎝）である。

3.2　４輪車

本実験に用いた足漕ぎ電動アシスト４輪車を図２に示す。この装置は加齢により、筋力が衰えて歩行能力が低下したり運動感覚機能や瞬発力などが低下した高齢者が安全で楽に移動・外出できるように支援するため開発した機器である。通常の自転車のように足を使って駆動しながら走行する方式にしている。

装置のサドル高はペダリング運動時の被験者の生体に及ぼす神経・生理学的な影響や関節に及ぼす力学的な影響大きい。従ってサドル高は、各被験者の体型や姿勢に違和感がないように調整を行った。

図２　4輪型電動アシストパーソナルモビリティ
Fig.2　Four-wheel electric power-assisted personal mobility

3.3　評価実験

評価実験は、図３に示す二つのルートで行う。評価実験ルートのプロフィルを表２に示す。

被験者は本装置を用いて日常生活活動を行った際、身体運動能力における生理的な変化を計測することとした。評価タスクとして、走行距離往復１㎞の緩やかなスロープを含むルートＡと平均勾配5.8％の登り片道240mであるルートＢのそれぞれに対して、ペダル回転力に対して２倍のアシスト力を呈示するモード（以下、Ａモードと記す）とアシスト力なしモード（以下、Ｎモードと記す）の２種類について実験を行った。また、体幹角度が一定になるようにハンドルの位置を調節し、被験者が実験中どの条件時でもハンドルの同じ位置を握るように口頭で指示した。

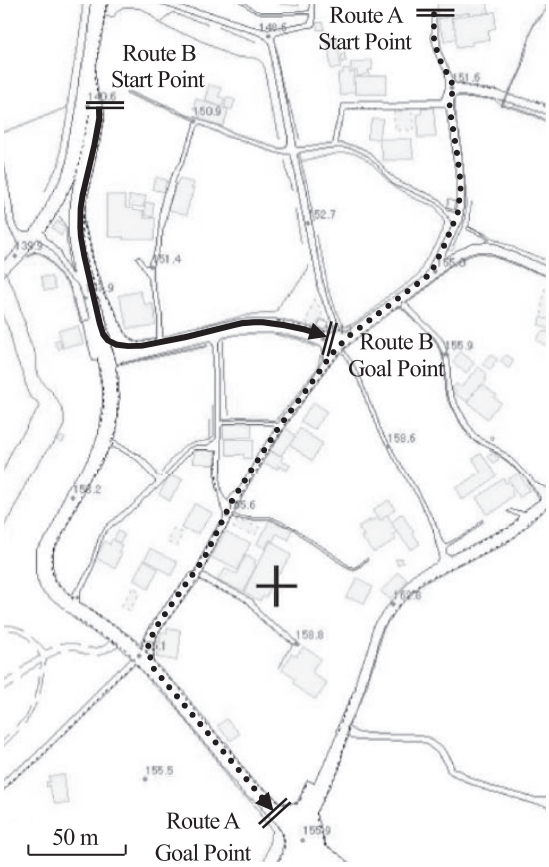


図３　篠山市遠方地区の地図[2)]
Fig.3　Map of Ochikata area Sasayama City [2)]

表２　評価実験ルートのプロフィル
Table 2　Profile of evaluation experiment route

	Running distance [m]	vertical drop [m]	Road gradient [%]
Route A	500	4.5	0.9%
Route B	240	14	5.8%

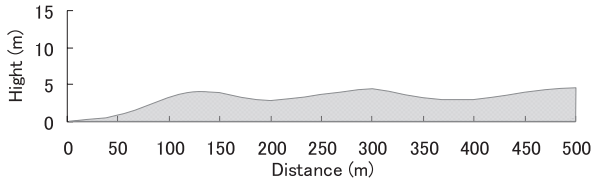


図４　ルートAのプロファイルマップ
Fig.4　Profile map of route A

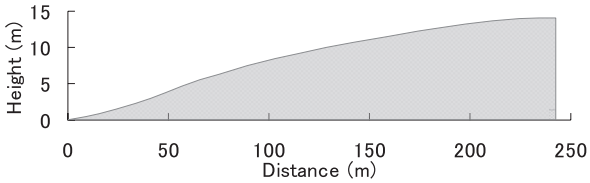


図５　ルートBのプロファイルマップ
Fig.5　Profile map of route B

ルートＡ（図４）の場合、スタート地点から120mまでは基準点測量差（標高差）は、3.4mで、平均勾配が2.8％である。その後の380mは標高差1.1mで、平均勾配が0.3％である。

ルートＢ（図５）の場合、スタート地点から25mまでは比較的に緩やかな勾配を示すが、20m以降からゴールの20m前までは、平均勾配が約７％となる。先行研究で行った兵庫県立総合リハビリテーションセンターの体育館に設置された避難スロープの距離[5)]の２倍ほどである。

いずれの走行実験においても、走行速度は被験者の身体的能力に合わせて、なるべく一定で走行するよう口頭で指示した。

3.4　酸素摂取量計測

被験者の身体的負担の評価は、酸素摂取量（以下、VO_2と記す）を測定して評価することとした。計測器は携帯型呼吸代謝測定装置（MedGraphics® VO2000）を用いた。酸素分析計の計測精度±0.01％以内で、10秒毎の平均酸素摂取量を計測した。酸素摂取量は、各実験とも、走行実験前後５分間の安静時のデータも収集した。実験の様子を図６に示す。

(a) Route A

(b) Route B

図６　実験の様子
Fig.6　Overview image of experiment

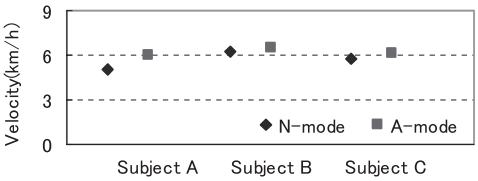
３　実験結果

本評価実験では、参加した被験者３名に呈示したタスクを走行し、被験者全員が遂行できた。その結果を表３に示す。

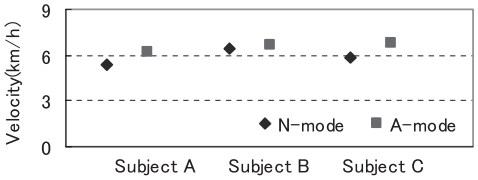
被験者Ａが４輪車を一週間と二週間、日常生活活動に用いた後、ルートＡのＡモードとＮモードの走行速度を比較してみるとそれぞれ13秒と25秒速くなった。また、ルートＢの場合も同じく、それぞれ25秒速くなった。

被験者Ｂの場合も同様に、８秒、６秒、５秒、５秒速くなった。被験者Ｃも同じく、31秒、３秒、12秒、３秒速くなった。

図７に被験者Ａがルート Ａを走行した際、Ｎモードでは７日目と14日ともに6kmを下回ったが、Ａモードでは、Ｎモードより速かった。被験者Ｂや被験者ＣともにＮモードよりＡモードが速かった。



(a) 7th day of route A

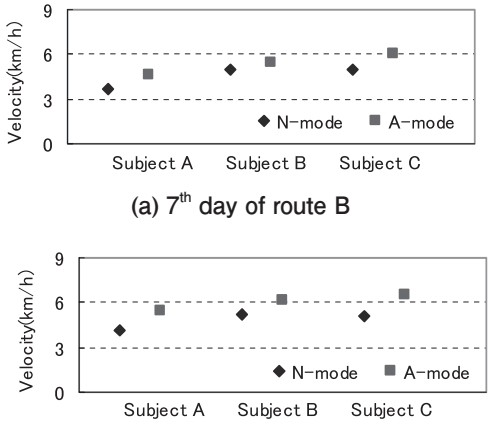


(b) 14th day of route A

図７　ルートAの7日目と14日目の速度
Fig.7　Route A Velocity of the 7th and 14th day

表３　実験結果
Table 3　Experimental result of subjects'

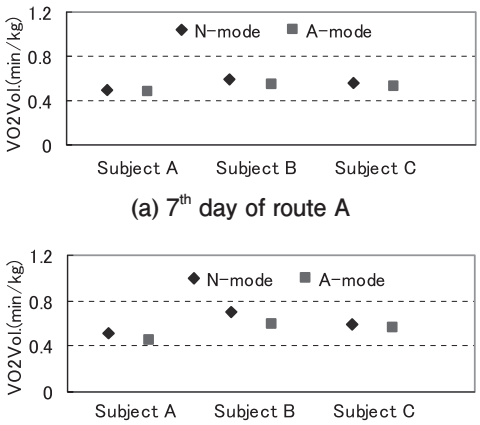
Subject	Sex	Age	Weight	Height	Experiment Day	Route A course		Route B course	
						Non -assistance (time)	Assistance (time)	Non -assistance (time)	Assistance (time)
A	F	75	56	148	7th	5:55	5:01	3:50	3:05
					14th	5:30	4:48	3:25	2:40
B	F	69	52	158	7th	4:45	4:35	2:50	2:35
					14th	4:39	4:27	2:45	2:20
C	M	65	70	168	7th	5:08	4:52	2:50	2:24
					14th	5:05	4:21	2:47	2:12



(a) 7th day of route B

(b) 14th day of route B

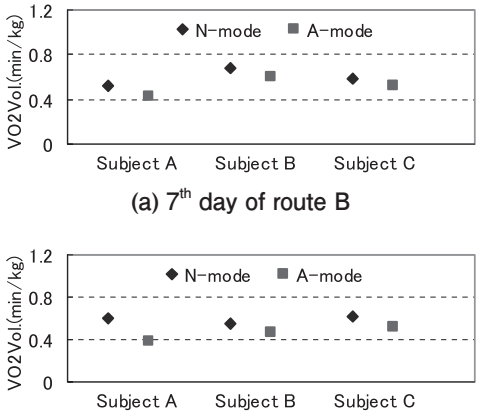
図８　ルートBの7日目と14日目の速度
Fig.8　Route B Velocity of the 7th and 14th day



(a) 7th day of route A

(b) 14th day of route A

図９　ルートAの7日目と14日目の酸素摂取量
Fig.9　Route A VO_2 Volume of the 7th and 14th day



(a) 7th day of route B

(b) 14th day of route B

図10　ルートBの7日目と14日目の酸素摂取量
Fig.10　Route B VO_2 Volume of the 7th and 14th day

ルートＢを走行した際の被験者３名のＮモードとＡモードにおける走行速度を図８に示す。被験者Ａの走行速度は他の２名より全体的に遅いが、ＮモードとＡモードで走行した際を比較してみるとほぼ同様の割合でＡモードが速かった。

被験者３名がルートＡで走行した際の走行速度差とルートＢで走行した際の走行速度の関係では、身体的負荷が大きくなるルートＢのほうが大きかった。

被験者３名が７日目と14日目にルートＡおよびルートＢで走行実験を行ったVO_2の結果を図９、図10に示す。

ルートＡを７日目に走行した際のVO_2は、ＮモードとＡモードにおいては大きな差は見られなかったが、14目では、被験者３名ともにＡモードのVO_2が少なかった。また、被験者ＢとＣの場合は、７日目より14日目のVO_2が上昇した。

ルートＢでは、被験者３名ともにＮモードよりＡモードのVO_2が少なかった。７日目のVO_2は、被験者ごとに差はあったが、14日目では３名ともほぼ同様のVO_2を示し、全体的にVO_2が減少する傾向を見せた。被験者Ａの場合は、７日目のＮモードより14日目のVO_2が上昇したが、Ａモードでは減少が大きかった。

４　考察

本研究では、過疎地域における高齢者が安全・安心な生活を確保し、社会活動への参画および居住地から公共交通までのアクセスに際し、４輪車で外出をした場合の移動可能距離やペダリング運動が身体にどのように影響を及ぼすかについて検討した。

運動を行った時に身体的な負担に大きく影響する因子は外的負荷である[6)]。外的な負荷により人体が行う運動強度が決定される。運動強度は、運動時のVO_2を計測・分析することによって評価することができる。実証実験のルートＡとルートＢは、運動療法においてサイクリングやエルゴメーターで推奨されている時間[7)]を根拠として定めた。

ルートＡの走行速度（図７）では、参加した被験者に残存する運動能力に対して外的な負荷が大きくなかったため走行速度の個人差が小さかったが、ルートＢのＮモード（図８）では個人差が見られた。これは､外的な負荷の影響が起因したと考えられる。一方、Ａモードでは、Ｎモードと比べて個人差が少なかったのは呈示した電動アシスト力が、被験者の衰えた運動能力を補ってくれたためと考える。

VO_2の図10（b）の被験者Ａは、ルートＢのＮモー

ドとAモードの差が大きい。それは、走行速度と同じく電動アシスト力があり、身体負担が少なかったと考えられる。

運動療法の観点では、ルートAおよびルートBにおいて電動アシスト力の有無に関係なく低強度の有酸素運動になると推測することができる[7)]。有酸素運動トレーニングは、高齢者の健康維持・増進または心血管系疾患や脳血管障害者の運動能力を向上させるという強い根拠があり[8)]、また有酸素性能力を向上させる有益な訓練法である[9)]。更に、心血管系疾患の疑いのある者、身体性の低い者、虚弱な高齢者などの運動の危険度の高い者に対しては、身体負担の40％程度の低強度の運動負荷が推奨されている[10)]ことから、本装置を日常生活活動に用いた場合は、健康維持・増進および移動支援機器として有効であると考えられる。

これらの結果から、提案した移動支援機器を歩行機能が衰えた高齢者が使用することで居住地から4㎞以内の移動による社会活動への参画および公共交通までのアクセスなどは可能であることが示唆された。

5　おわりに

本研究では、過疎地域における高齢者および運動機能の低下によって歩行が困難になった人を対象に実証実験を行った。以下に得られた結果をまとめる。

1）提案した本装置は、過疎地域における高齢者および歩行困難者が利用した際、身体的負担が少なく円滑な走行が可能である。
2）居住地から4㎞以内の社会活動の参画および公共交通までのアクセスに有効であることが示唆された。
3）歩行機能が低下した高齢者、心機能や脳血管障害等による運動機能障害を有する人たちの日常的な外出支援機器として有効である。
4）高齢者における慢性疾病あるいは危険因子保有者も適切に使用すれば、身体機能の維持・増進のために用いられる運動療法機器としても寄与することが期待できる。

謝　辞

本研究を推進する際、ご協力頂きました被験者の皆様、また実験装置にご協力頂きました株式会社カワムラサイクルに深く謝意を表す。

参考文献

1）李虎奎、米田郁夫、橋詰努、他. 介護予防を含んだ高齢者および運動機能障害者のためのパーソナルモビリティの開発、日本実験力学、Vol.13, No.1, pp.80-87, 2013
2）国土交通省地籍調査
3）General Principle of Universal Design Policy, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2005
4）Ministry of Health. Labour and Welfare of Japan: Exercise and Physical Activity Guide for Health Promotion 2006, Exercise Guide 2006
5）李虎奎、米田郁夫、赤澤康史、原良昭、北川博巳、高橋良至、河合俊宏、米田隆志、歩行機能が低下した高齢者のために提案した4輪型足漕ぎ電動アシスト移動、GS1-5-3-1-4、2013
6）Gaesser, G.A. and Brooks, G.A.: Muscular Efficiency During Steady-rate Exercise: Effects of Speed and Work Rate, J. Appl Physiol. Vol.38, No.6, pp.1132-1139, 1975
7）Whipp, B.J., Davis, J.A., Torres, F. and Wasserman, K.: A Test to Determine Parameters of Aerobic Function During Exercise, J. Appl. Physiol. Vol.50, No.1, pp.217-221, 1981
8）Saunders, D.H., Greig, C.A., Young, A. and Mead, G.E.: Physical Fitness Training for Stroke Patients, Cochrane Database Syst Rev 2004（1）：CD003316
9）Pang, M.Y., Eng, J.J., Dawson, A.S. and Gylfadottir, S.: The Use of Aerobic Exercise Training in Improving Aerobic Capacity in Individuals with Stroke：a meta-analysis, Clin Rehabil, Vol.20, No.2, pp.97-111, 2006
10）American College of Sports Medicine Position Stand. The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults., Med Sci Sports Exerc. Vol.30, No.6, pp.975-991, 1998