長時間乗車における優等車両用腰掛の座り心地予測手法

白戸　宏明*　　島宗　亮平**

Estimation Method of Sitting Quality of Railway Passenger Seats for Long Time Riding

Hiroaki SHIROTO　　Ryohei SHIMAMUNE

Up to now, the sitting quality of the railway passenger seats has been mainly executed by subjective evaluation for a short time riding. However, it is uncertain whether or not such subjective evaluation for a short time riding can be applied to a long time riding of the limited express train. The estimation method of sitting quality for a long time riding based on the sitting quality for a short time riding was examined through searching for the factors that influenced the sitting quality with variation of time. As a result, it was found out that the sitting quality for 180 minutes riding can be roughly estimated from sitting quality for the riding of about 40 minutes.

キーワード：人間工学，長時間乗車，優等車両，腰掛，座り心地予測手法

１．はじめに

鉄道における腰掛の座り心地の研究は，通勤用に比べ長時間座ることや，より快適性が要求されることから主に優等車両用腰掛を対象にしてきた。本格的な座り心地の研究は，1964年の東海道新幹線の開業に合わせて始まった。その後，1975年の山陽新幹線博多開業時には，高速化と長時間乗車を考慮した座り心地の改善が行われ，1990年代には，振動環境での座り心地の向上や多様な体格への適合ということが研究対象となった[1)]。また，これまでに座り心地の評価として，振動伝達特性評価，体圧分布評価，官能評価などが行われてきたが，評価対象の腰掛の完成度が高くなるほど官能評価に頼る部分が多くなる傾向にあった。しかし，実際の官能評価では長時間着座することなく，主に第一印象での評価で座り心地を評価してきた。一方，優等列車では長時間乗車する旅客の割合が多いことから，長時間乗車における腰掛の座り心地を把握したいというニーズは存在していた。

そこで，車内快適性シミュレータ[2)]および試験列車における長時間乗車模擬試験の結果から，腰掛の座り心地の時間的変化に影響する要因を把握し，長時間乗車における座り心地を短時間で予測する手法等について検討したので，以下に報告する。

＊　人間科学研究部（人間工学）
＊＊　前　人間科学研究部（人間工学）
（現：東日本旅客鉄道株式会社）

２．長時間乗車模擬試験

2.1　目的

長時間乗車を模擬した試験環境における，腰掛の座り心地の第一印象，身体主要部の症状および座り心地評価と着座時間の関係から，長時間乗車の座り心地を短時間で予測する手法を検討する。

2.2　試験方法

2.2.1　試験環境

車両模擬環境として走行振動や車内音を統制できる車内快適性シミュレータを用い，また，現車を使った試験では新幹線車両（E954形式高速試験電車）を用いた。

車内快適性シミュレータでは，供試腰掛として外観が似ている2人掛けの腰掛A，腰掛Bの2種類を2脚ずつ設置し，被験者は通路を挟んで着座して試験を行った。2種類の腰掛は簡易計測では座面および背もたれ中央部の硬さが，腰掛Aが腰掛Bより30%程度硬いことが確認されている。シートピッチは，車内快適性シミュレータの模擬客室寸法の制約から新幹線普通車で多く採用されている1,040mm（現車試験では1,100mm）とした。ただし，試験条件ではリクライニングを大きく倒し足を前方に投げ出す姿勢をとらないこと，背面テーブルを使用しないことからシートピッチの影響はほとんど無いと思われる。試験中の振動は新幹線走行を模擬したものとして，乗り心地レベルで左右66dB，上下70dBとした。車内音は予め現車で収録した音を模擬客室のスピーカーから，通路中央床面上1.2mで60dB（A）となるように再生した。

現車試験では，腰掛Aと腰掛Bが同じ車両内に設置されている車両を用いた。シートピッチは1,100mmとし，2人掛けと3人掛けの腰掛を用いたが，被験者が隣り合って座ることによる座り心地への影響を排除するため，被験者の着席はA，C，E席とした。また，車窓風景の見え方による差を無くすことおよび停車中に車外から見られることを防止するため，窓のブラインドは閉じた状態とした。

2.2.2　試験時間

長時間乗車を模擬するため，車内快適性シミュレータでの試験は120分間，現車での試験時間は160分間とした。ただし，現車での走行は予め決められたダイヤにより走行したため，振動や車内音の統制はしていない。また，現車試験では試験区間の関係から乗車してから試験開始までに90分以上経過していた。

2.2.3　被験者

被験者は健康な成人男女で，週に1回以上電車を利用すると回答した被験者である。車内快適性シミュレータ試験の被験者属性を表1，現車試験の被験者属性を表2に示す。

表１　車内快適性シミュレータ試験の被験者属性

腰掛	性別	人数	年齢（歳）	身長（m）	体重（kg）
			範囲	範囲	範囲
			平均	平均	平均
A	男	15	23－60	1.62−1.83	60－93
			44.4	1.710	69.6
	女	13	25－56	1.53−1.64	42－66
			42.1	1.590	52.7
B	男	15	20－60	1.64−1.83	50－82
			45.7	1.715	65.2
	女	16	37－60	1.50−1.65	43－59
			49.2	1.584	51.2

表２　現車試験の被験者属性

腰掛	性別	人数	年齢（歳）	身長（m）	体重（kg）
			範囲	範囲	範囲
			平均	平均	平均
A	男	17	21－60	1.61−1.78	50－98
			40.2	1.698	70.4
	女	19	21－59	1.43−1.65	40－70
			36.8	1.570	54.0
B	男	19	20－60	1.60−1.80	52－105
			35.3	1.705	68.1
	女	16	21－60	1.46−1.67	43－69
			39.1	1.578	54.9

2.2.4　姿勢

試験時の姿勢は，腰掛から立ち上がることやストレッチなどを禁ずる他は自由とした。

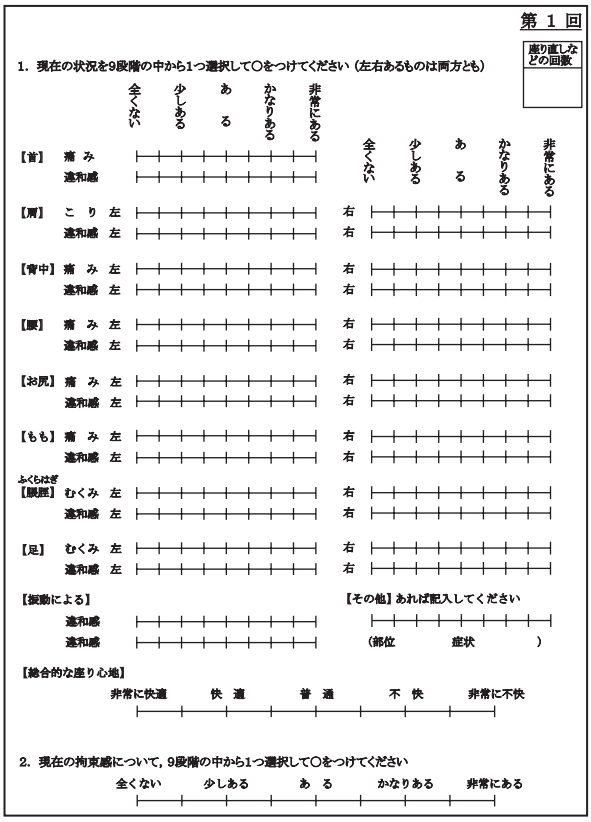

図１　記入用紙（毎回回答する項目）

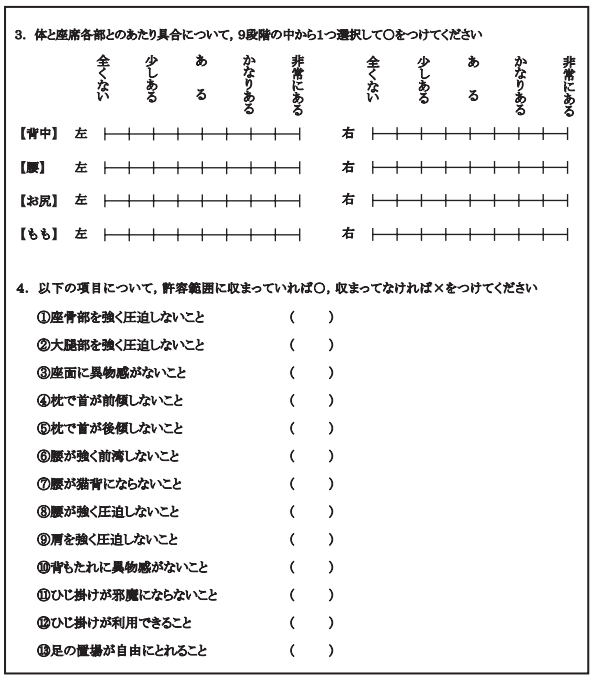

図２　記入用紙（1回目のみ図1に加え回答する項目）

2.2.5　評価項目

腰掛の座り心地評価については，1996年にチェックリストを用いて数分程度で実施する方法を提案している[3)]。図1，2はこのチェックリストなどを参考にして作成した今回使用した主観評価の記入用紙である。

図1の評価項目は，長時間着座により評価が変化すると考えられる身体主要部の痛み，こり，むくみ等の症状，振動による疲労感，総合的な座り心地，拘束感，座り直し回数などの項目から構成されている。図1の評価項目は5分毎に被験者が記入した。

図2の評価項目は，第一印象的な評価項目のなかでも身体主要部の症状に影響すると考えられる身体主要部と腰掛との接触の程度，前述のチェックリストで長時間着座の場合に座り心地に影響すると考えられている項目から構成されている。図2の評価項目は最初に1回だけ被験者が記入した。

2.3　試験結果

2.3.1　図2の「4.」項目と総合的な座り心地の関係

前述の記入用紙で長時間着座の場合に座り心地に影響すると考えられている図2の「4. ①～⑬」の項目についての回答は，許容範囲に収まっている（以下「許容内」）か許容範囲に収まっていない（以下「許容外」）かである。現車試験の結果では表3に示すように，最も「許容外」の回答数が多かったのは，項目⑩「背もたれに異物感がないこと」で，回答数12，割合は17%であった。

図2の「4.」の項目の評価と図1の「総合的な座り心地」の関係を，「許容外」の回答数が一番多い現車試験の項目⑩と2番目に多い項目⑦「腰が猫背にならないこと」について経過時間を横軸にして表したものが図4および図3である。図3では，項目⑦の回答を「許容内」としたグループと「許容外」としたグループの間で「総合的な座り心地」は全ての経過時間で統計的に有意差（P=5%）はみられない。一方，図4では，経過時間55分までは有意差（P=5%）がみられ，「許容内」と回答したグループの評価の方が快適側となっているが，それ以降は両者の回答の差は時間経過に伴い小さくなる傾向がみられ有意差もなくなっている。

表3に示したように「許容外」の回答数が9以下の項目がほとんどで，統計的な処理には適していないため，図2の「4.」項目と「総合的座り心地」の関係を統計的手法で明らかにはできないが，図3および図4から判断する限りでは，少なくとも時間経過に伴い図2の「4.」項目の回答が「許容内」「許容外」のどちらでも，「総合的座り心地」に差がなくなる傾向がみられる。以上の結果から，図2の「4.」項目の評価からは長時間乗車の座り心地を予測することはできないと考えられる。

2.3.2　身体主要部の症状

図1に示した身体主要部の痛み，こり，むくみおよび振動による疲労感の程度（以下「疲労感」）と経過時間の関係を示したものが図5および図6である。車内快適性シミュレータおよび現車のいずれの試験でも経過時間に伴い症状の訴えが増加していく傾向がみられ，部位別訴え数間の相関はいずれの試験でも高い値（R=0.95～0.99）を示した。また，部位別訴え数と座り心地の間の相関も高い値（R=0.94～0.98）を示しており，回答平均値は良く似た傾向を示している。120分以上経過時点で症状の訴えが多いのは，車内快適性シミュレータ試験では「疲労感」「肩」「腰」「背」の順，現車試験では「尻」「腰」「疲労感」の順であった。以上のことから，長時間乗車での座り心地と身体主要部の痛み，こり，むくみとは同じ傾向で経過時間と伴に変化していく関係にあり，特に「肩」「背」「腰」「尻」といった部位の状態が座り心地に強く影響しているものと考えられる。

表3　現車試験における図2の「4.」項目の評価

項目	回答		項目	回答	
	許容内	許容外		許容内	許容外
①	64	5	⑧	62	7
②	63	6	⑨	64	5
③	60	9	⑩	57	12
④	60	9	⑪	63	6
⑤	63	6	⑫	64	5
⑥	66	3	⑬	66	2
⑦	58	11			

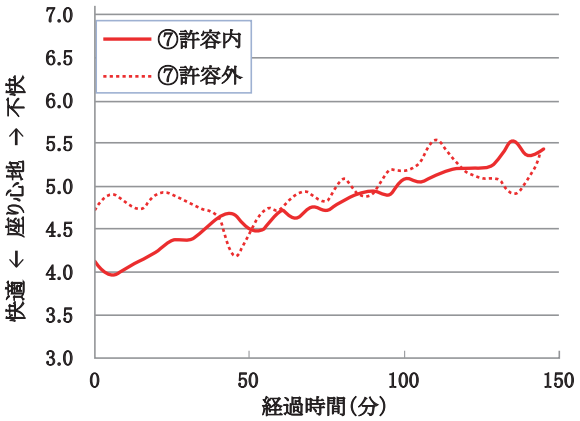

図3　項目⑦「腰が猫背にならないこと」への回答別による経過時間と座り心地の関係

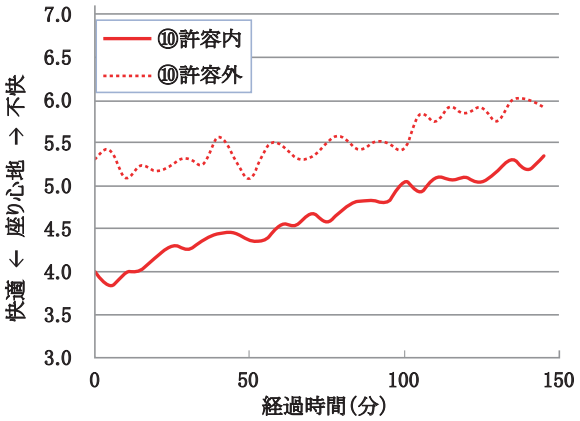

図4　項目⑩「背もたれに異物感がないこと」への回答別による経過時間と座り心地の関係

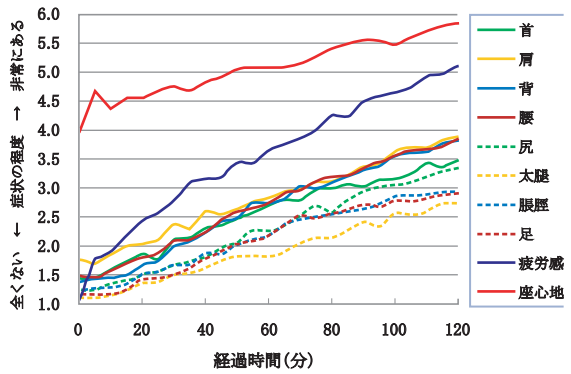

図５　車内快適性シミュレータ試験における経過時間と身体主要部症状の関係

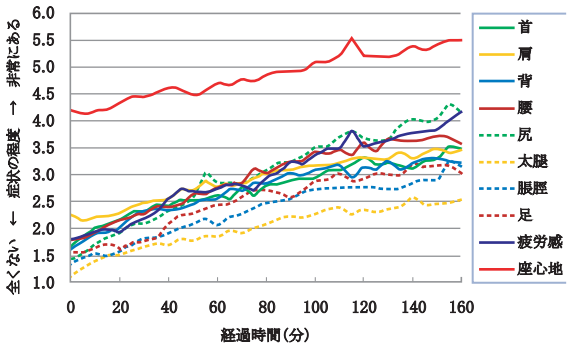

図６　現車試験における経過時間と身体主要部症状の関係

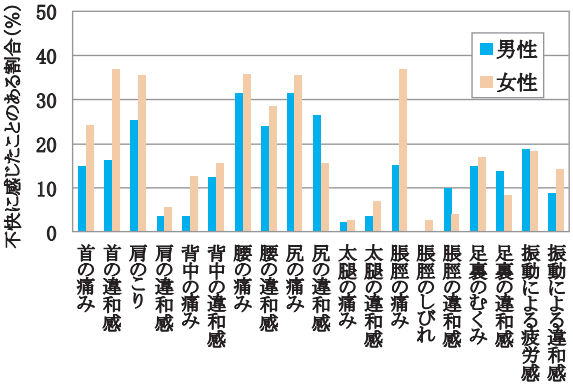

図７　新幹線の座席に長時間腰掛けた際に不快に感じた経験のある症状

腰掛により差があったのは，車内快適性シミュレータ試験では「腰」の症状の訴えで，「腰掛A」より「腰掛B」が多く，現車試験では「肩」の症状の訴えで，「腰掛B」より「腰掛A」が多くなっていた。

性別により差があったのは，現車試験おける「首」「肩」「脹脛」「疲労感」の症状の訴えで，「男性」より「女性」が多くなっていた。女性の訴え率が高い「首」「肩」「脹脛」に関しては，試験前に被験者の経験を訊ねた図７の結果と一致しており，症状の訴え部位は腰掛の種類とはあまり関係ないと考えられる。

被験者別にみると「疲労感」と最も高い相関（R=0.70～0.82）を示したのが「拘束感」であることから，図５で「疲労感」の評価が身体各部の症状と傾向が違うのは，肉体的疲労ではなく心理的疲労を反映した回答であるためと考えられる。症状の訴えが少ないのは，どちらの試験でも「大腿」であるが，これは足を組み変えても良い条件としたためと考えられる。図６の現車試験の経過時間80分～100分の間は停車中で，走行による振動はなかったが，「足」以外は症状の訴えが増加しており，症状の訴えは走行振動だけでは決まらず，走行振動以外の影響もあることが分かる。

2.3.3　総合的な座り心地

経過時間と「総合的な座り心地」の関係を示したものが図８および図９である。車内快適性シミュレータおよび現車のどちらの試験でも経過時間に伴い座り心地が不快側になっていく傾向がみられ，図５および図６の身体主要部の痛み，こり，むくみ，疲労感といった個別の評価と座り心地は高い相関（R=0.94～0.98）があり，ほぼ同じ変化傾向を示している。このことは，「総合的な座り心地」を腰掛の座り心地評価を代表する指標であると考えて良いことを示している。

図８において平均値の差の検定（t検定）で有意差（P=5%）のある組み合わせは「男性腰掛A」と「男性腰掛B」のほぼ全ての経過時間，「男性腰掛A」と「女性腰掛A」の45分まで，「男性腰掛A」と「「女性腰掛B」の70分以降の３つである。また，45分以降では「腰掛B」より「腰掛A」の方が座り心地が快適であると評価されている。

図９において平均値の差の検定（t検定）で有意差（P=5%）のある組み合わせは「男性腰掛B」と「女性腰掛A」の55～65分の間のみである。

３．長時間乗車における座り心地の予測

1996年に提案した評価方法も含め，これまで短時間で行っていた座り心地評価は，経過時間0分の評価に相当すると考えられる。図８の車内快適性シミュレータ試験の結果では，経過時間0分では性別・腰掛別の座り心地は，平均値の差の検定（t検定）では有意差（P=5%）はみられないが，経過時間に伴い有意差がみられるようになる。また，性別・腰掛別の座り心地は経過時間0分からの立ち上がりの傾向とそれ以降の傾向が異なることから，短時間評価からは長時間乗車の座り心地を予測することはできないと言える。図9の現車試験の結果では，一部の経過時間帯を除けば性別・腰掛別の座り心地は有意差がみられないが、図８と同様に短時間評価からは長時間乗車の座り心地を予測することはできない。

経過時間に伴い変化する座り心地を予測するためには

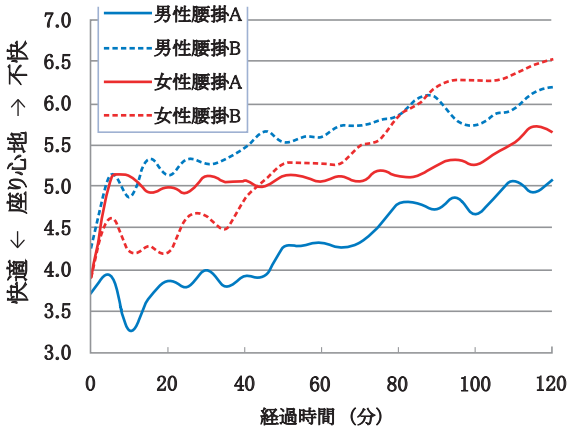

図８　車内快適性シミュレータ試験における経過時間と座り心地の関係

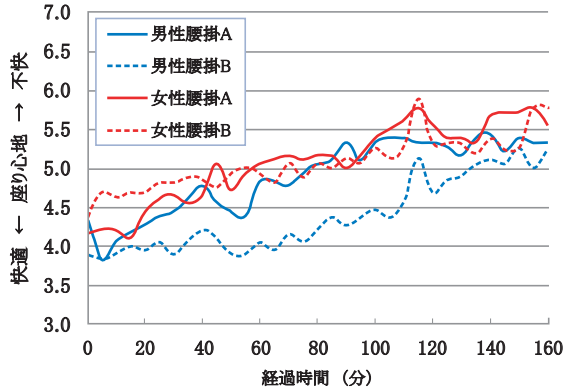

図９　現車試験における経過時間と座り心地の関係

少なくとも時間を隔てた2回の評価が必要になる。性別・腰掛別の座り心地の差が大きい図8の場合でも初期変動の10分までを除くと，経過時間と座り心地評価は概ね直線的な関係にあることから，図８の15分～40分の結果を直線近似して予測した結果を図10に示す。図10と図8の120分の結果を比較すると試験条件間の順位は合っており，概ね予測できていると見ることができる。

ここで用いた例は0分から10分までの回答を初期変動として予測から除いたものであるが，初期変動が小さい場合は，予測から除く必要がない場合もある。このような初期変動も含め評価全体のばらつきの大小は評価に対する熟練度に依存するところが大きく，振動乗り心地に関する評価では一般の被験者より関係者の方が評価のばらつきが小さく，評価も若干厳しいという報告がある[4)]。快適性という意味では類似と考えられる座り心地評価においても，評価者の数に制約がある場合には関係者による評価の方が信頼性の高い結果を得られる場合がある。

試験環境の視点から図８と図９を比較すると，評価時間以外の拘束時間が少ない図8の車内快適性シミュレータの方が評価に集中でき，条件間の差も検出しやすい傾向がみられる。また，図７の調査結果や現車試験の結果

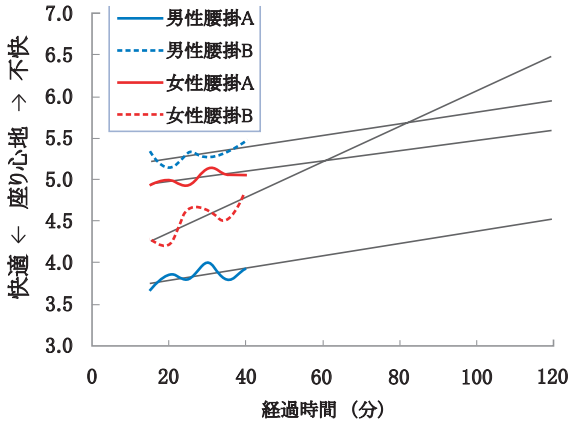

図10　15分～40分の評価による120分後の予測

では身体主要部の症状の訴えが男性より女性の方が多いことや，図８において男女間で座り心地評価と経過時間の関係に差がみられることから，男性女性両方の評価者が必要であるといえる。以上のように，評価者の数と熟練度，試験環境や評価者の性別によって結果が異なる可能性があることについても考慮する必要がある。

４．検証試験

4.1　目的

前章で提案した長時間乗車における座り心地の予測手法が，今回の試験に使用した腰掛と異なる腰掛やより長時間の場合でも適用可能かどうか車内快適性シミュレータを使用して確認する。

4.2　試験方法

車内快適性シミュレータに設計時期が1980年代で、実際に新幹線で使用されていた腰掛Ｃをシートピッチ900mmで取付け，振動，車内音，姿勢および評価項目は腰掛Ａ・Ｂの試験と同じ条件とした。試験時間は連続180分間とし，被験者は10分毎に評価を記入した。ただし，被験者がトイレへ行くための中断は許可した。被験者は腰掛Ａ・Ｂの試験とは別の健康な成人男女で，週に１回以上電車を利用すると回答した被験者とした。被験者属性を表４に示す。

表４　検証試験の被験者属性

性別	人数	年齢（歳）	身長（m）	体重（kg）
		範囲	範囲	範囲
		平均	平均	平均
男	20	21－65	1.61－1.81	50－85
		49.3	1.707	66.6
女	12	21－59	1.52－1.65	40－75
		45.0	1.588	53.3

4.3　試験結果

図11は検証試験時の経過時間と座り心地の関係である。図11からは性別による差はみられず，経過時間に伴い同じ様に座り心地が不快側になっていく傾向がみられた。図11でも図8と同様に回答に初期変動が見られるが，図8より変動幅は小さい。図12は図10と同様に10分までの評価を初期変動として予測から除き，20分～40分の3回の評価を用いて直線近似で長時間の評価を予測した結果である。予測された評価値は試験結果よりも不快側になるが，経過時間180分での予測値は男性6.57，女性6.21であり，試験結果（男性：評価平均5.68，標準偏差1.72，女性：評価平均5.67，標準偏差1.43）との差は0.89と0.54であり，試験結果の標準偏差より差が小さいことを考慮すると，予測は妥当であると考えられる。

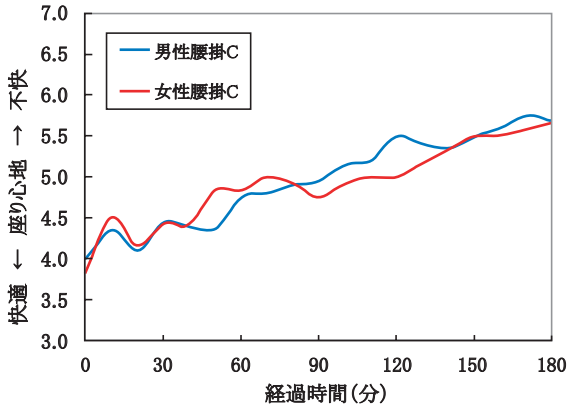

図11　腰掛Cにおける経過時間と座り心地の関係

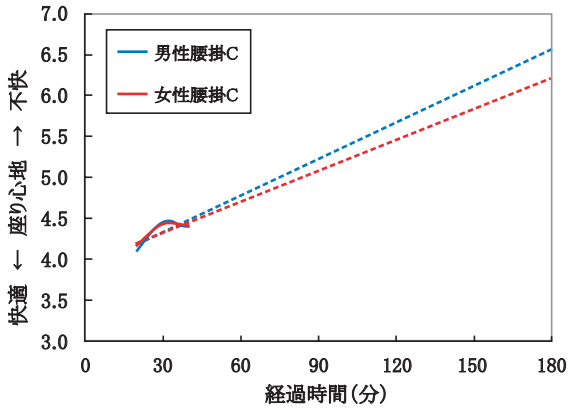

図12　20分～40分の評価による180分後の予測

5．まとめ

時間経過と腰掛の座り心地評価の関係について，車内快適性シミュレータおよび現車において被験者試験を実施し，その結果に基づき長時間乗車における座り心地評価法について検討した結果，以下のようなことが分かった。

(1) 1996年にチェックリストを用いた評価法で提案した長時間着座の場合に座り心地に影響すると考えられた項目の回答からは，長時間乗車の座り心地を予測することはできない。

(2) 身体主要部の痛み，こり，むくみなどの症状および疲労感の程度は，経過時間に伴い増加していく傾向がみられた。現車試験では身体主要部の症状の訴えは男性より女性の方が多い。また，症状の訴えは過去の経験と同じ部位に発生しており，症状の訴えは腰掛の種類とはあまり関係ないと考えられる。

(3) 座り心地評価と時間経過の関係が概ね直線的であることから，座り心地評価の初期変動部分を除いた40分程度の評価結果から，長時間乗車の座り心地の予測が可能である。ただし，試験環境や評価者の性別によって結果が異なる可能性がある。

謝辞

現車試験の実施に関してご協力いただきました東日本旅客鉄道株式会社の関係者の皆様に感謝いたします。

文　献

1）藤浪浩平：日本における鉄道旅客用座席の人間工学的研究の変遷，鉄道総研報告，Vol.11，No.11，pp.37-42，1997

2）白戸宏明，中川千鶴，鈴木浩明：車内快適性シミュレータの開発と活用法，鉄道総研報告，Vol.18，No.2，pp.5-8，2004

3）藤浪浩平，白戸宏明，中川千鶴，若林寿之：鉄道旅客用座席評価手法の開発，鉄道技術連合シンポジウム講演論文集（J-RAIL'96），pp.283-286，1996

4）鈴木浩明：鉄道関係者と大学生の振動乗り心地評価傾向の比較，心理学研究，Vol.73，No.2，pp.161-167，2002