

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510174

研究課題名（和文） 夜間の災害救助活動における照明環境整備に関する調査研究

研究課題名（英文） Investigation Research on Lighting Environment Improvement of Outdoor Rescue Work at Night

研究代表者

秋月 有紀（AKIZUKI YUKI）

富山大学・人間発達科学部・准教授

研究者番号：00378928

研究成果の概要（和文）：自然災害時の夜間救助活動を行う際に救助者や医療従事者にとって障害となる照明環境要因の実態を把握し、視認性や色覚における問題点を抽出することを目的とする。まず現職の救助隊員にアンケート調査を実施し災害時の視環境での問題点とニーズを抽出した上で、実際の使用照明器具を測光して、色の見えの問題や仕様基準化の必要性を示した。また瓦礫の下で迅速な医療対処が必要な圧迫障害の被災者について皮膚性状を把握するため、健常者の手の甲を擬似的ショック・鬱血状態に設定し、各状態の色票データベースを作成した上で、性別や年齢の影響について検討した。さらに夜間活動現場での順応輝度を把握するため、動画像を用いて視野の輝度分布を高速連続測定する技術の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：The purposes of this study are, to understand obstacles for rescue and medical workers such as poor lighting conditions and visual object factors at night time outdoor works, to extract problems regarding visibility and color conditions under current situations of medical work relief activities at night time, and to make proposals for the improvement of the lighting environment in order to secure better rescue and medical activities in the future. First, we conduct survey to rescue workers to extract needs and problems of visual environment in disaster situation. One should take note that there are differences with regard to luminous flux, irradiation area and color rendering. There also should be standardized input of information on specifications of equipment. Moreover we reports collecting the spectral reflectance data and creating the color chart database of quasi-skins in shock and congested state by healthy young/ elderly subjects, in order to determine the visual conditions of disaster victim's skin under a situation like buried in rubble. In so doing we examine the influence of gender and age. Also, we develop the methods of high speed continuous measurement of luminance distribution in the visual field using moving images in order to assess the adaptation luminance in the nighttime rescue situation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：視覚工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：都市・社会防災、災害救助環境整備、照明器具、視認性、演色性、皮膚色、輝度分布、動画像

1. 研究開始当初の背景

(1)自然災害時の夜間災害現場における救助活動者の視野輝度分布は、投光器等によるグレアや、指向性の強い光による影の生成などにより、複雑かつ時々刻々と変化している。また視覚情報を収集しにくい夜間では、救助活動者間の連携において意思伝達が困難になりやすく、騒音も相まって救助活動の運営に支障をきたす。倒壊建物の下で長時間取り残された被災者を発見して救助にあたる、いわゆる瓦礫災害救助医療活動においては、要救助者は外傷に加え、発見までの長時間経過がもたらす低体温症、身体部位への圧迫により漏出したカリウムが救出時の圧迫解除によって血管内を灌流し心停止などを引き起こすクラッシュ症候群などが想定される。しかし瓦礫下空間では十分な照明を確保できないため視診による皮膚所見の観察等が困難になり、重要な傷病者情報を見逃す危険が高い。近年、災害時の手元照明には小型で長寿命のLED光源が多用されているが、特殊な分光分布の光であるため、これらの皮膚所見が困難な状況にある。

(2)夜間救助活動における様々な視認性に関する課題について、瓦礫災害訓練施設での救助活動研究会を実施しながら、職種毎の問題点について調査を行うなどの研究体制を整えてきた。また屋外活動での視認性判定に必要な順応輝度の特定を目標として、動きのある視野輝度分布の測定方法を構築するため、視認性評価手法と図形科学的手法を用いて取り組んだ。

2. 研究の目的

(1)地震などの自然災害が発生した際の夜間救助活動を行うにあたり、救助者や医療従事者等にとって障害となる照明要因（使用光源の分光分布、順応レベルなど）や視対象要因（患部性状など）の実態を把握し、その状態での活動者の視認性や色覚における問題点を抽出し、将来スムーズな災害救助活動を行うために改善すべき照明環境整備課題を明確にすることを目的とする。

(2)なお、本研究の実施中に東北地方太平洋沖地震が発生したため、研究計画を一部修正した上で、避難所の照明環境の実態把握と問題点の抽出も実施することとした。

3. 研究の方法

本研究では特に3つのサブテーマを設定して調査研究を行い、現状の災害現場での問題点を把握する。

(1)使用光源と視対象物の実態把握およびそ

の視認性と色の見えの把握

- ① 実際に救助活動を日常業務として行っている隊員を対象とし、災害救助活動時の照明環境や使用照明器具の問題等についてアンケート調査を実施する。
- ② 救助隊員が実際に現場で使用する手元照明について、分光特性・光束・照射範囲を把握し、演色性について評価する。
- ③ 倒壊建物での被災者の皮膚色として想定されるショック状態や鬱血状態を、健康者で擬似的に再現し、色票データベースを作成する。被災者は日本人を想定し、結果に対する性別や年齢層の影響について検討する。
- ④ ②の光源下での文字の視認性や、③の皮膚の色の見えについて評価する。

(2)順応輝度特定のための、動きのある視野輝度分布の測定方法の確立

- ① 動画像を用いた輝度分布測定方法の構築
- ② 暗順応環境下での動きを伴う視野輝度分布の測定および精度の確認

(3)避難所の照明環境の実態把握

- ① 東北地方太平洋沖地震で集団避難を行っている避難所について、日中と夜間の照明環境について、施設管理者を対象としてヒアリング調査を実施し、使用されている照明器具等を調査する。
- ② 被災エリアの地方自治体の行政担当者を対象として、震災当時の避難所等の照明状態についてヒアリング調査を実施し、今後の課題などを抽出する。

4. 研究成果

(1) 東京消防庁等に所属する現職の救助隊員 57 名を対象にアンケート調査を行った。回答した救助隊員の 8 割は災害現場で視力矯正する必要が無く、隊員の 3 割はレーシック手術を行っている。救助隊員に支給される小型照明器具は、光束や照射範囲に対して満足されておらず、そのため救助隊員の約 7 割が私費で対応している。小型照明器具の問題は災害現場によって異なっており、水難救助現場では光束不足と共に持久性不足も指摘されていた。

また、救助隊員が実際に現場で使用する小型照明器具 10 台について、形態や仕様、光束や照射範囲、分光分布等を測定した上で、その器具による色の見えについて検討した。LED光源の照明器具は重量が軽く小型で最小 80g である。水難救助に利用される耐水性・耐深性の照明器具は 1104g の大型もある。光束に関する情報はカタログに表記されていないが、特にLED光源の照明器具において個体差が大きく、最大使用時間と共に明記する

といった規格化が必要である。最大光源輝度は平均 $15400\text{cd}/\text{m}^2$ と高く、夜間活動時におけるグレアの問題が危惧される。照射範囲・配光・分光分布も照明器具の個体差が大きい。分光分布データを用いて平均演色性評価数を算出すると、LED光源の器具は $R_a=70\sim 82$ と低い。標準イルミナントAに対する肌の色差はLED光源の器具で最大 88 と非常に大きく、日常の照明環境と比べて肌や患部の色の見えが異なることを示していた。

なおこの研究結果については、国際照明委員会 CIE 大会で報告を行い、関係者に対して規格化に取り組む必要性をアピールした。

(2) 患者のショック状態における皮膚色の経時変化は大きいことを、重篤患者の定性的観察において把握した。そこで健常者において安定的に擬似的なショック状態の皮膚色測定方法について検討した。以下に方法を示す。

実験での測定部位は、末梢部で血流の変化に伴う皮膚色の違いが把握しやすい手の甲とする。擬似的に設定する状態は、安静時初期状態、虚血（擬似的ショック）状態、再灌流（擬似的鬱血）状態の3種とした。被験者は薄地長袖シャツを着衣し、開始前1分間安静にし、机の上に置かれた手の甲を分光測色する。開始直後、ガートル台を用いて測定する上腕を心臓より高い位置に上げ90秒間その状態を維持させて、上腕の血液を末梢部に行かないようにする。またこの時間に血圧計のカフを上腕に巻く。開始から1分30秒後、血圧計のカフに 200mmHg の圧力をかける。この状態は再灌流まで維持されるが、控減症候群および皮下出血は生じない。開始から2分30秒後、上げていた腕を静かに机の上に下ろす。開始から3分30秒後、十分な虚血状態であることを目視で観察した上で、手の甲を測色する。開始から4分後、圧力を解除し、再灌流状態直後から10秒間隔で合計4分間、連続測色する。再灌流において鬱血状態の最も顕著な（赤黒く反射率が低い）皮膚色となる時間は、被験者によって異なるので、8分間の実験結果を通して判断する。この方法で再現するショック状態は虚血により手の甲が血の気を失い白色化し、安静時初期状態よりも反射率が高くなる。再灌流することで皮膚は赤みを帯び、虚血状態よりも反射率が低くなる。このような結果を有効値として取り扱う。データベースとして収集するのは、3状態での三刺激値 Y_{xy} 、分光反射率、マンセル表色系 HV/C 等である。

上記の測定方法を用いて、青年女性 37 データ、青年男性 21 データ、高齢者女性 29 データ、高齢者男性 22 データを得た。代表的な被験者の初期・虚血・再灌流状態の皮膚の分光反射率を図1に示す。初期状態に比べて虚血（ショック）状態は特に $450\sim 600\text{nm}$ で

反射率が増加する。一方、再灌流（鬱血状態）は全体的に分光反射率が低下する。これは多くの被験者に見られる傾向である。

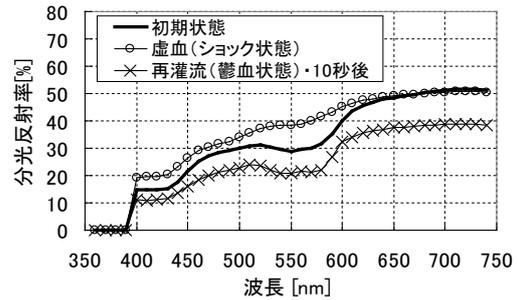


図1 皮膚の分光反射率（青年女性の一例）

表1に各状態でのマンセル表色系（D65光源）の色票を性別・年齢層別に示す。色票の傾向として、初期状態に比べ、虚血時は黄みがかかり、再灌流時は赤みがかかる。女性の皮膚色は男性よりも黄みがかっており、バラツキも小さく、性差の有意な違いが見られる。一方、年齢層の有意差は認められない。

高齢者の男女の結果について、色の三属性毎の度数分布を図2~4に示す。女性と男性で頻度の高い色相が異なる（図2）。初期→虚血→再灌流の状態変化で見ると、女性は $7YR\sim 8YR\rightarrow 10YR\sim 1Y\rightarrow 5YR$ 、男性は $5YR\sim 8YR\rightarrow 9YR\rightarrow 2YR\sim 5YR$ と変化する。明度の結果（図3）では女性の方が男性より高い。初期→虚血→再灌流では、女性は $6\rightarrow 6\sim 7\rightarrow 6$ 、男性は $5\rightarrow 6\rightarrow 5$ と変化する。彩度の結果（図4）では女性の方が男性より彩度が低い。初期→虚血→再灌流では、女性は $3\rightarrow 3\rightarrow 3\sim 4$ 、男性は $3\sim 4\rightarrow 3\sim 4\rightarrow 4$ と変化する。

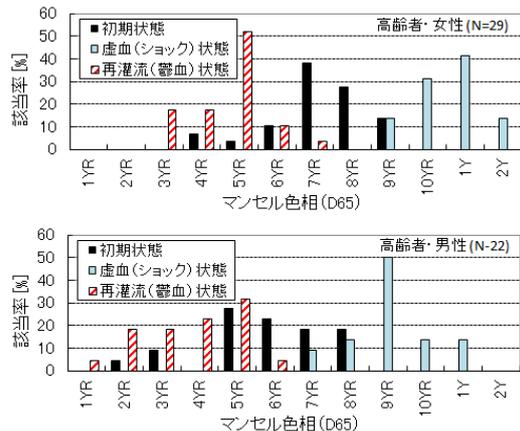


図2 状態毎のマンセル色相度数分布（高齢者）

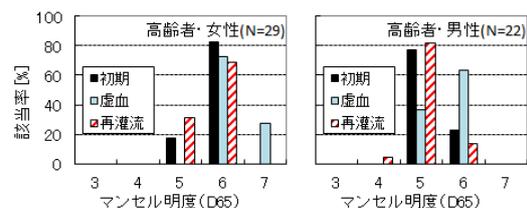


図3 状態毎のマンセル明度度数分布（高齢者）

表 1 状態毎のマンセル色票結果

		初期		虚血(ショック)				再灌流(鬱血)					
		女性		男性		女性		男性		女性		男性	
		高	青	高	青	高	青	高	青	高	青	高	青
9R	5/5									1			
1YR	5/4									1	1		
2YR	5/3				1								
	5/4								1	4			
	5/5											2	
	6/3			1									
6/4									1				
3YR	5/3				1						1		
	5/4				1				3		3	3	
	5/5												3
	6/4								2	2			
4YR	4/3												1
	5/3				1								
	5/4				2				2		4	1	
	5/5												2
	6/3	1							2				
6/4	1	1		1				1	6	1	5		
5YR	4/4										1		
	5/3								2	1	1		
	5/4				5	3			2		3		
	6/3	1				1			4	1			
6/4				1	2			7	6	2	2		
6YR	5/3	1		2							1		
	5/4	1		3	1						1		
	6/3		2						1	4			
	6/4	1	1						2	3		2	
7YR	5/2										1		
	5/3	1		2			1				1		
	5/4			1	2		1						
	6/2		1										
	6/3	10	9	1	4				1	3			
6/4		2		1				1					
8YR	5/4	2		1			2						
	6/2		1										
	6/3	6	7	1	2				1		1		
	6/4		2	2	1			1					
	7/3		3										
9YR	5/4						3						
	6/3	4	4			3	3	3	2				
	6/4					1		5	6				
	7/2						1						
7/3		2			1								
10YR	5/3						1				1		
	6/3					9	1	2	2				
	6/4						2		5				
	7/3		1			10		1					
1Y	4/2										1		
	6/3					6	1	3	1				
	7/3					5	9		2				
	7/4					1							
2Y	6/2						2						
	6/3						2						
	7/2						2						
	7/3					2	4						
4Y	7/2					1							
6GY	6/2										1		

表中の数字は該当するデータ数を示

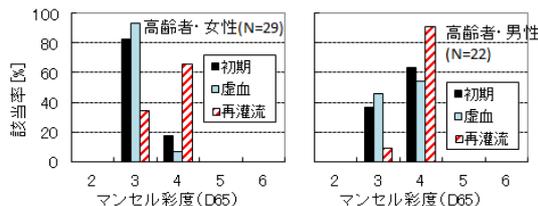


図 4 状態毎のマンセル彩度度数分布 (高齢者)

初期状態に対する虚血時と再灌流時の色差 ΔE^*ab を求め、パーセンタイル値を表 2 に示す。虚血時・再灌流時共に、男女の有意差は認められていない。虚血時の方が再灌流時よりも色差が大きい、その大半は色差 10 未満の範囲内と小さい。災害時でもこの微妙な皮膚色の变化を識別しうる、演色性の高い光源が必要であるが、実際の救助活動で使用されている照明器具ではその要求を満たしていない。今後、これら三種の皮膚色を適切に識別しうる光源の分光特性について検討を行い、現場で視診が可能な LED 照明器具の開発へと繋げる予定である。

表 2 初期状態に対する色差 ΔE^*ab

レンジ値	虚血(ショック状態)				再灌流(鬱血状態)			
	女性		男性		女性		男性	
	高	青	高	青	高	青	高	青
10%	4.22	3.93	5.00	3.21	2.47	2.67	2.12	2.23
50%	6.41	6.09	6.57	6.72	4.30	5.11	3.47	5.16
90%	9.90	8.76	10.20	9.95	6.60	12.08	5.43	7.43

(3) 夜間の災害救助活動時における光環境把握のため、変化する光環境の輝度分布を高速かつ連続的に測定する技術の開発を行った。まず高速連続撮影デジタルカメラを用い、単一の露出条件で高速連続撮影された静止画像を用いて輝度を求める手法を検討した。静止画像の中心 (10×10 画素) の平均画素値と、1/30 秒で変化する動画を高速連続撮影した平均画素値で見ると、両者は同様の变化を示し、その誤差率は概ね 30%以内収まる。

しかしこの方法では連続撮影可能コマ数が最大 60 コマであり測定が短時間に限定される制約があったため、動画の撮影による輝度の算出を試みた。デジタルカメラの動画モードで高速変化する対象を撮影し、1/15 秒程度の明るさの変化であれば、撮影した動画の中心画素の平均画素値の変化が対象の明るさの変化に追従することを示した。

さらに動画による測定方法を用いて実空間の輝度分布の高速連続測定を行った。まず、輝度計によって測定された対象面の輝度値と、その対象面を動画で撮影した場合の画素値の関係から、回帰式を算出した。そして、動きのある視対象として燃焼する綿灯芯から発生する白煙に光を当てて散乱光を変化させ、これを動画で撮影し、得られた動画の画素値から輝度分布を求めた。また、輝度分布を基に、疑似カラーによる輝度分布のアニメーション、輝度のピーク抽出画像 (150 (cd/m²) 以上の部分に彩色) のアニメーションを作成した。

以上、動画をを用いて時間の制約のない高速測定ができることを示した。今後、測定できる輝度の範囲を拡大するため、複数のカメラによる撮影結果をマッチングさせる方法等が必要となる。

(4) 2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震において、津波や火災による被害が甚大で発災後約3ヶ月において多くの人々が避難所生活をしている岩手県下閉伊郡山田町と、原発事故により集団避難を余儀なくされた波江町・豊岡町等の住民を受入れている福島県二本松市および郡山市における避難所生活空間での照明環境の実態について、管理責任者と避難者代表へのヒアリング調査を行った。阪神淡路大震災時には、避難所となった体育館の照明が、発災後に停電が復旧した時には安心感を創出する明かりとして有効であったが、時間の経過と共に不眠やストレスの原因となったことを指摘されていたが、東日本大震災では避難所毎に独自の消灯ルールを設けて細やかに対処していることがわかった。しかし共通して求められる照明制御もわかり、トイレやそれに通ずる廊下は人感センサーにより終夜必要時に点灯することや、居住エリアとして利用が想定される空間には低光束の明かりを別系統で終夜点灯することなど、避難生活行動を踏まえた照明制御システムを備えておく方が望ましいことを明らかにした。

また、発災から約半年後において、当時の避難所等への照明の対応について、気仙沼市・多賀城市・東松島市・七ヶ浜町・石巻市の行政スタッフへヒアリング調査を行った。発災直後に停電状態となった災害対策本部では、重要な機能を持つ部屋のみ発電機で照明され、それ以外はろうそくや懐中電灯で対処していたことがわかった。また発電機や投光器が十分備わっている場合は避難所に提供した自治体もあったが、非常用電源の確保が十分でない所では、ろうそくの提供で対応していた。ろうそくの使用が余震による火災を引き起こした事例もあるので、次の災害対策に向けて、ソーラー発電機の整備や小型で消費電力の少ないLED照明器具を活用した避難所の照明環境整備が、今後必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① Yuki AKIZUKI, Junko TOMOHIRO, Masahiro WAKASUGI, Akiko YOSHIMURA and Kenichiro TAKASHINA : Creation of Colour chart database of disaster victim's skin -Measurement of quasi skins in shock and congested state by healthy young subjects-, Proceedings of 12th International AIC Congress、アブストラクト査読有、12、2013、4 pages
- ② 秋月有紀、友廣純子、布村忠弘、若杉雅浩、吉村晶子、鈴木広隆、高階謙一郎 :

被災者の患部・皮膚状態の色票データベースの作成(2) -健全な高齢者を対象とした測色実験-、照明学会全国大会講演論文集、査読無、46、2013、2 pages

- ③ 鈴木広隆、秋月有紀 : 動画像による実空間輝度分布の高速連続測定、照明学会全国大会講演論文集、査読無、46、2013、2 pages
- ④ Michico IWATA, Tadashi DOI, Yuki AKIZUKI, Shino OKUDA and Hideki SAKAI : Study on the Present Condition of Outdoor Lighting System for the Disaster Prevention、Proceedings of 15th WCEE、査読有、15、2012、9 pages
- ⑤ 秋月有紀、北後明彦、鈴木広隆 : 東日本大震災における避難所の照明状態に関する調査-避難所設備管理者および行政スタッフへのヒアリング-、シンポジウム東日本大震災からの教訓これからの新しい国づくり梗概集、査読無、2012、427-430
- ⑥ Yuki AKIZUKI, Hiroataka SUZUKI, Akiko YOSHIMURA, Futoshi OHYAMA, Shinji AKITOMI and Yoshinobu KAKO : Lighting Equipment Problems of Outdoor Rescue Work and Medical Activity at Night、Proceedings of 26th session of the CIE、アブストラクト査読有、26、2011、779-788
- ⑦ Hiroataka SUZUKI : Geometrical designing of lamp shades making use of rapid prototyping system、Proceedings of the International Symposium on Algorithmic Design for Architecture and Urban Design、アブストラクト査読有、2011、13 pages
- ⑧ 吉村晶子・佐藤史明・秋月有紀・大山太・加古嘉信・秋富慎司・中島康 : 瓦礫の下の現場環境の物理量計測と活動への影響評価-USAR訓練を通じたCSR/CSM活動向上のための実証的研究への試み-、日本集団災害医学会誌、査読有、15、2010、25-33

[学会発表] (計 17 件)

- ① 秋月有紀 : 被災者の患部・皮膚状態の色票データベースの作成-健全者による擬似的ショック状態の再現-、照明学会全国大会、2012.9.8、山口大学
- ② 鈴木広隆 : 動画像を用いた輝度の高速連続測定に関する研究、照明学会全国大会、2012.9.8、山口大学
- ③ 吉村晶子 : 夜間の災害救助活動における視環境の問題に関するアンケート調査、日本建築学会大会、2011.8.23、早稲田大学
- ④ 秋月有紀 : 災害救助活動で使用される小型照明器具の実態、日本建築学会大会、2011.8.24、早稲田大学
- ⑤ 鈴木広隆 : 高速連続撮影カメラによる輝

- 度の連続測定に関する研究、照明学会全国大会、2011.9.17、愛媛大学
- ⑥ 秋月有紀：東日本大震災における避難所の照明に関する調査-岩手県下閉伊郡山田町と福島県二本松市および郡山市の事例-、照明学会全国大会、2011.9.17、愛媛大学
- ⑦ 秋月有紀：夜間救助医療活動における使用照明の課題，日本集団災害医学会、2011.2.11、大阪国際交流センター

〔図書〕

なし

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

富山大学ホームページTom's Press 22号 特集 災害に備える 災害時の視環境を知る
http://www.u-toyama.ac.jp/outline/toms-press/pdf/toms_press22.pdf
富山大学広報誌Tom's Press 22号 特集 災害に備える (pp. 8-9) ISSN 1880-6678

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋月 有紀 (AKIZUKI YUKI)
富山大学・人間発達科学部・准教授
研究者番号：00378928

(2) 研究分担者

鈴木 広隆 (SUZUKI HIROTAKA)
神戸大学・工学研究科・准教授
研究者番号：60286630

(3) 連携研究者

吉村 晶子 (YOSHIMURA AKIKO)
千葉工業大学・工学部・准教授
研究者番号：50356052

秋富 慎司 (AKITOMI SHINJI)
岩手医科大学・医学部・助教
研究者番号：00509028

大山 太 (OYAMA FUTOSHI)
東海大学・健康科学部・講師
研究者番号：30398531

(4) 研究協力者

加古 嘉信 (YOSHINOBU KAKO)
京都府警察本部・警務部・警部補
高階謙一郎 (TAKASHINA KENICHIRO)
京都第一赤十字病院・救急科・部長
若杉 雅浩 (WAKASUGI MASAHIRO)
富山大学・医学部・講師
布村 忠弘 (NUNOMURA TADAHIRO)
富山大学・人間発達科学部・教授
薛 妹妹 (SETSU MAIMAI)
富山大学・人間発達科学部・当時学部学生
友廣 純子 (TOMOHIRO JUNKO)