

カクテルパーティ効果を利用した個人認証システムの改良

臼井 健祐† 稲葉 宏幸†

† 京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科
〒 606-8585 京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町 1
E-mail: †usui09@sec.is.kit.ac.jp, inaba@kit.ac.jp

あらまし 近年、情報機器の普及に伴い、個人認証技術の重要性が高まっている。現在、認証方式としてはパスワード認証方式や画像認証方式が広く用いられている。しかし、視覚に頼らない認証方式の研究例は少ない。今後、視覚障害者も利用できるような聴覚による認証方式に関する研究も重要になってくると考えられる。著者らは従来から聴覚を利用する認証方式として、カクテルパーティ効果を利用した音の聞き分けによる個人認証システムを提案している。本研究では、従来の手法を改良し、本人認証率を下げることなく、他人受入れ率の低減を可能とする手法を提案する。

Improvement of the Personal Authentication System Using a Cocktail Party Effect

Kensuke Usui† Hiroyuki Inaba†

†Kyoto Institute of Technology Hashigami-tyou 1, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto, 606-8585 Japan
E-mail: †usui09@sec.is.kit.ac.jp, inaba@kit.ac.jp

Abstract Recently, the importance of personal authentication technology is increasing with the spread of information equipment. Nowadays, a password authentication and an image authentication are mainstream authentication method. However there are few studies of the authentication method without relying on eyesight. In the near future, it will be important to study authentication method which is available for visually impaired. The authors have proposed the personal authentication method using cocktail party effect as a study on authentication method by hearing. In this study, we propose a novel improved method to enable the reduction of others acceptance rate without sacrificing a personal authentication rate.

1 はじめに

近年、携帯型機器やICカードなど、個人が利用する情報機器の普及に伴い、個人認証技術の重要性が高まっている。現在主流となっている個人認証方式は、ユーザが鍵となる数列や文字列を直接入力するパスワード認証方式である。パスワード認証ではユーザがパスワードを忘れて

しまう、または入力時に覗き見られる危険性などが問題となる。また、なりすましが困難という点でより安全性が高いとされる指紋や静脈などの特徴を用いた生体認証方式も一般的になってきている。しかし、生体認証では鍵となる生体情報が認証を行う個人特有のもので、情報流出時のリスクが非常に大きいことが問題となる。

これらの問題を解決、緩和する目的で画像を

用いた様々な認証方式についての研究が行われている [1][2][3]. 画像認証では鍵となる画像情報が文字情報よりも記憶しやすいことを利用しており, 入力に何らかの法則を設けることで盗撮攻撃に耐性を持つ方式が数多く提案されている. しかし, 入力時の複雑な法則が操作の煩雑さや難解さを招く場合もある.

個々の認証方式には利点と欠点があり, 安全性や危険性, 利便性などが異なる点に注意しなければならない. 認証方式の選択肢を増やす意味でこれまでに提案されている様々な画像認証方式に関する研究は, その重要性が認められよう.

視覚を利用した様々な認証手法についての研究が進む一方で, 視覚障害者が利用できる方式や, ディスプレイを持たない情報機器に適した方式など視覚情報によらない認証方式についての研究例は少ない [4]. ユニバーサルデザインの観点からも, 聴覚を利用した個人認証方式についての研究を進めることには意味があると考えられる. そこで著者らは, 聴覚の特徴としてカクテルパーティ効果に着目し, これを利用した音声の聞き分けによる個人認証システムを提案するとともに, 認証精度及び安全性に関する実験を行い, 提案方式の性能について考察を行っている [5]. 文献 [5] では認証音を 1 音だけ用いて実験を行っているが, 本稿では認証音を 2 音用いることで認証精度及び安全性を向上させることを試み, 実験を行う. そして, 従来の実験結果と比較することで提案方式の有用性を示す.

2 カクテルパーティ効果

我々は日常生活において, 雑音の中でも特定の個人との会話を成立させることができる. 例えば, 多くの話者が同時に会話しているパーティ会場において, 話し相手の位置や声色, 発話のテンポなどに選択的に注意を向けることで相手の言葉を聞き取ることができる. このような聴覚上の効果はカクテルパーティ効果と呼ばれる [6]. カクテルパーティ効果の発生メカニズムについてはまだ十分に解明されておらず, 現在も研究が進められている [7].

カクテルパーティ効果に関する実験として,

反復聴音による学習効果についての実験が行われている [8]. この実験では被験者に特定の音源を繰り返し聞かせた場合に, 反復聴音の回数に比例して, より正確にその音源を雑音の中から聞き分けられるという実験結果が示されている. すなわち, この実験結果は個人が明確に記憶している特定の音源ほど雑音の中からも聞き分けが容易になることを示していると考えられる.

3 既存手法

著者らが文献 [5] において提案している手法を以下では既存手法と呼ぶ. 既存手法では前述のカクテルパーティ効果における, 既知の音源の聞き分けが容易であるという性質を利用している. 既存手法ではまずユーザは明確に記憶している音源をシステムに登録しておく. そして, 認証時にシステムは複数の音源を同時に再生する. この時システムは再生する複数の音源の中に, 登録された音源を含めるか否かを毎回ランダムに決定する. ユーザは再生された音を聞き, その中にあらかじめ登録した既知の音源が含まれていたか否かをシステムに応答する. この聴音と応答を数回繰り返し, 応答の正答率によってシステムは認証あるいは拒否の判断を下す.

以下, 既存手法に用いるパラメータと変数について述べる. ユーザが聞き分けるべき音源を s で表し, 以後 s を認証音と呼ぶ. システムが再生する認証音以外の k 個の音源を a_1, a_2, \dots, a_k で表し, 非認証音と呼ぶ. この非認証音の集合を A とする. またシステムが同時に再生する音源の数を n とし, システムによる音源の再生時間を T とする. システムが同時に再生する音源の集合を M_1, M_2, \dots, M_m とし, 混合音と呼ぶ. m は一回の認証で再生される混合音の総数を表す.

また, $S_i (1 \leq i \leq m), \alpha_{ij} (1 \leq j \leq n-1)$ は混合音 M_i に含まれる 1 つの音源を表す. ただし, $S_i \in \{s, A\}, \alpha_{ij} \in A$ である. S_i は混合音の要素に認証音が含まれるか否かをランダムに決定する論理値変数 $c_1, c_2, \dots, c_m (c_i \in 0, 1)$ の値によって決定する. また, α_{ij} には M_i に同一の

音源が含まれないように非認証音が選択される。認証時にユーザは混合音 M_1, M_2, \dots, M_m を聞き、それぞれの混合音に認証音 s が含まれるか否かを判断し、システムに応答する。応答内容はシステムへの入力として論理値変数 r_1, r_2, \dots, r_m に格納する。つまり r_i はユーザが M_i を聞いて認証音 s を聞きとれば1の、聞き取れなければ0の値をとる。システムは応答内容から正答数 λ を計算する。また、システムが認証成功を判断するための基準として、閾値 δ ($\delta \leq m$) を設定する。

以上で準備したパラメータと変数を用いた既存システムの流れは以下ようになる。

1. c_1, c_2, \dots, c_m の値をランダムに決定する。
2. S_1, S_2, \dots, S_m の音源を決定する。ただし、 $c_i = 0$ の場合は S_i の音源は非認証音の集合 A からランダムに選択する。
3. $\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{m(n-1)}$ の音源を非認証音の集合 A からランダムに選択する。
4. 次のステップ 5,6 を $1 \leq i \leq m$ の全ての i で行う。
5. 混合音 M_i に含まれる音源を同時に時間 T の間再生する。
6. ユーザの応答を r_i に格納する。
7. 正答数 λ の値を計算する。
8. $\lambda \geq \delta$ の時、認証成功とする。

図1に $n = 4, m = 4$ におけるユーザの認証操作の流れを示す。

4 提案手法

提案手法では、ユーザが聞き分けるべき音源である認証音を2種類用いることで認証精度と安全性の向上を目指す。以下では、1つ目の認証音を s_1 、2つ目の認証音を s_2 とする。ユーザは認証操作に入る前に s_1, s_2 を明確に記憶する。また既存手法ではユーザのシステムに対する応答は0(認証音が含まれない)か1(認証音が含まれる)かの2択であるが、提案手法では以下に示す4択になる。

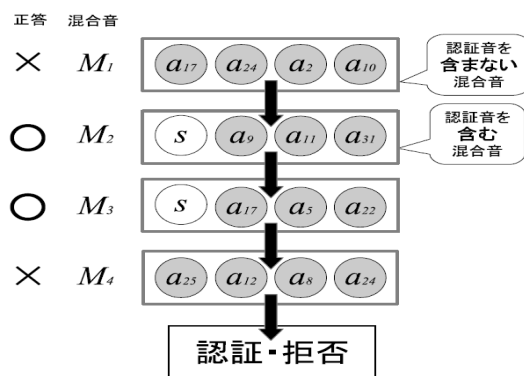


図1: $n = 4, m = 4$ における認証操作の流れ

1. s_1, s_2 共に含まれていない
2. s_1 のみ含まれている
3. s_2 のみ含まれている
4. s_1, s_2 共に含まれている

ユーザの応答パターンが増加することで、認証時の操作を覗き見された場合でも認証音の推測が困難になるため、他人受入れ率が小さくなることが期待される。また、第三者が応答をランダムに入力した場合に、偶然に認証されてしまう可能性も低減させることができる。提案手法の概要を図2に示す。

提案システムの流れを以下に示す。

1. 各混合音に「 s_1, s_2 共に含まない」「 s_1 のみ含む」「 s_2 のみ含む」「 s_1, s_2 共に含む」の4パターンをランダムで振り分ける。
2. 各混合音に含まれる音源をランダムに決定する。なお混合音中に含まれる各音源には重複が生じないようにする。
3. ステップ 4,5 を全ての混合音を再生し終えるまで繰り返す。
4. 混合音を時間 T の間再生する。
5. ユーザの応答をシステムに格納する。
6. 正答数 λ の値を求める。
7. $\lambda \geq \delta$ の時、認証成功とする。

図3に $n = 4, m = 4$ におけるユーザの認証操作の流れを示す。

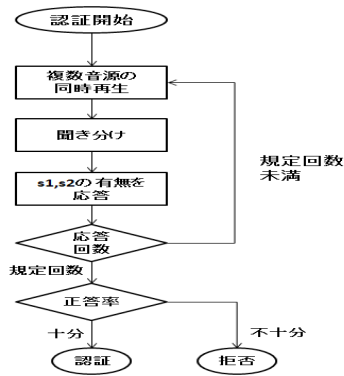


図 2: 提案手法の概要

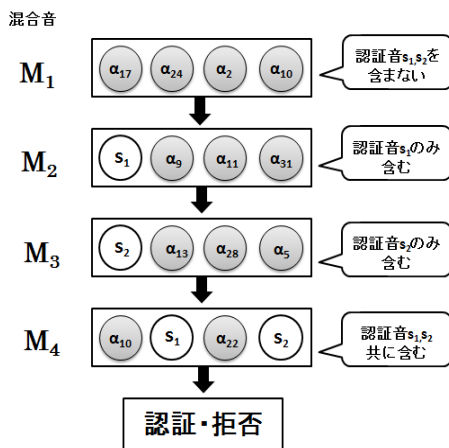


図 3: 提案手法の $n = 4, m = 4$ におけるユーザの認証操作の流れ

5 実験

提案システムを実装した際の、認証精度に関する実験(実験 1)と、安全性に関する実験(実験 2)を行う。実験は全て静かな部屋でイヤフォンを用いて行う。被験者は実験 1 で 6 名、実験 2 で 6 名の計 12 名の健常な聴覚を持つ学生を対象とする。実験に用いる音源には古典文学の朗読音声の一部から作成した 3 秒間の音源を 32 種類用意する。なおこれらの音源の朗読者は男性 16 名と、女性 16 名である。音源は全て 16bit リニア PCM, サンプリング周波数 44.1kHz, 2 チャンネルステレオである。また、音源の信号波形における振幅の最大値を統一することで音量の正規化を行う。音源の詳細は稿末の表 2 に

示す。

5.1 実験 1: 認証精度に関する実験

被験者 6 名のうち最初の 2 名は認証音 s_1, s_2 共に男声を、次の 2 名は s_1 に男声、 s_2 に女声を、最後の 2 名は s_1, s_2 共に女声を認証音として実験を行う。これは、認証音が男声か女声かのどちらかに偏らないようにするためである。また実験において、被験者は混合音の個数 $m = 4$ 、混合音中に含まれる音源の個数 $n = 4$ 、混合音の再生時間 $T = 3[\text{sec}]$ の条件で 10 回ずつ認証操作を行う。なお、被験者は認証操作に入る前に「 s_1, s_2 共に含まない」「 s_1 のみ含む」「 s_2 のみ含む」「 s_1, s_2 共に含む」の 4 パターンの混合音を繰り返し聞いて練習できる。被験者が納得いくまで練習したことを本人に確認した後に認証操作を行う。また、被験者は各認証操作に入る前に何回でも認証音を聞いて確認することができる。

5.2 実験 2: 安全性に関する実験

被験者は第三者が 1 回の認証操作について、覗き見と盗み聞きをしたと想定して認証操作を行う。この実験において被験者は、混合音の個数 $m = 4$ 、混合音中に含まれる音源の個数 $n = 4$ 、混合音の再生時間 $T = 3[\text{sec}]$ の条件で 9 回ずつ認証操作を行う。また、被験者には認証音が何であるかを一切教えない。

実験の手順を以下に示す。

1. 認証音 s_1, s_2 を決める
2. ランダムに混合音を 4 つ作成 (認証操作 1 回分)
3. 混合音を再生し、その正答パターンを被験者に提示する
4. ステップ 3 を 4 回繰り返す
5. 被験者は認証音 s_1, s_2 を推測する
6. 認証音は s_1, s_2 のまま、新たに認証操作を行う

7. ステップ 1.~6. を各被験者につき 9 回行う

なお認証操作を 9 回行う際、毎回認証音 s_1, s_2 を変更している。また、認証音 s_1, s_2 の組み合わせは全被験者で統一している。

6 実験結果

6.1 実験 1

既存手法と提案手法における、認証音を知るユーザ本人の認証率を閾値 $\delta = 3$ 、および $\delta = 4$ について比較した結果を図 4 に示す。

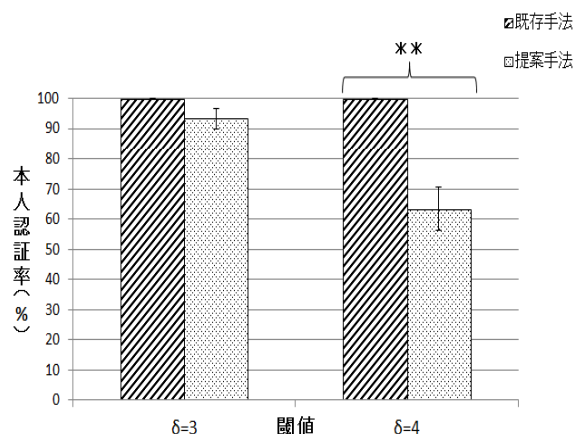


図 4: 既存手法と提案手法における本人認証率 (**: $p < 0.01$)

既存手法の本人認証率は $\delta = 3, \delta = 4$ でいずれも 100% となった。一方、提案手法の本人認証率は $\delta = 3$ で 93%, $\delta = 4$ で 63% となった。

既存手法と提案手法の $\delta = 3$ における本人認証率の平均値に対する t 検定を行ったところ 2 つの手法間に主効果は確認されなかった ($p = 0.073$)。しかし、 $\delta = 4$ では、2 つの手法間に主効果が確認された ($p < 0.01$)。

6.2 実験 2

既存手法と提案手法における、盗み聞きと覗き見を行った他人による認証率を閾値 $\delta = 3$ 、および $\delta = 4$ について比較した結果を図 5 に示す。

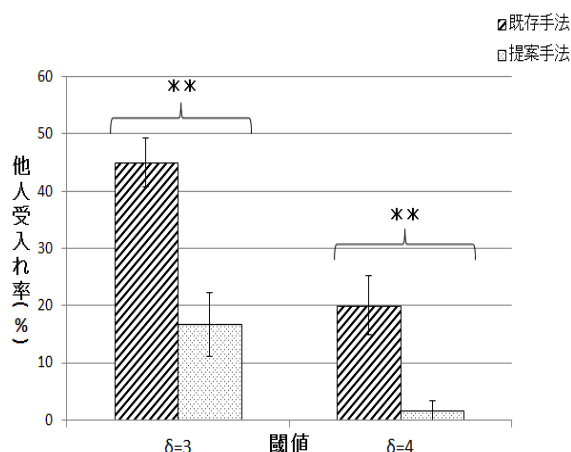


図 5: 既存手法と提案手法における他人受入れ率 (**: $p < 0.01$)

既存手法の他人受入れ率は $\delta = 3$ で 45%, $\delta = 4$ で 20% となった。一方、提案手法の他人受入れ率は $\delta = 3$ で 17%, $\delta = 4$ で 1.7% となった。

既存手法と提案手法の $\delta = 3$ における他人受入れ率の平均値に対する t 検定を行ったところ 2 つの手法間に主効果が確認された ($p < 0.01$)。また、同様に $\delta = 4$ でも 2 つの手法間に主効果が確認された ($p < 0.01$)。

7 考察

7.1 実験 1

本人認証率の比較結果について考察する。閾値 $\delta = 3$ 、および $\delta = 4$ における認証率は提案手法が既存手法より劣化していることが分かる。 $\delta = 4$ に関しては約 37% も低下している。これは認証音の種類が増加したことにより音の聞き分けが困難になったことが原因と考えられる。既存手法では、4 つの音源の中から 1 つの認証音の有無を聞き分けるだけでよかったが、提案手法では、4 つの音源の中から 2 つの認証音の有無を聞き分けなければならず、認証率が低下することは容易に予想できる。認証操作 1 回で再生する混合音の個数は 4 つであるので、閾値 $\delta = 4$ は、4 つの混合音に対するユーザの応答が全て正しい場合を意味する。 $\delta = 4$ の場合の認証率は大きく低下していることから、複数の音

源の中で2つの認証音の有無を選択的に聞き分け、全て正解することは困難だということがわかる。しかし、閾値 $\delta = 3$ では、提案手法が既存手法に比べて約7%程度しか認証率が減少していない(検定では有意な差が認められない)。これは、認証音が2音でも混合音4つのうち1回の誤りを許すならば聞き分けが正しくできることを示している。

7.2 実験2

盗み聞きと覗き見による他人受入れ率の比較結果について考察する。他人受入れ率は、提案手法が既存手法より、 $\delta = 3$ では約28%、 $\delta = 4$ では約18%低減することが明らかとなった。既存手法では、被験者は混合音を盗み聞きし、認証音が混合音中に存在するか否かの2択を覗き見し、認証音の予測を行う。一方、提案手法では、被験者は混合音中に2つの認証音がそれぞれ含まれているか否かの4択を覗き見し、認証音1と認証音2の予測を行う。提案手法では、2つの認証音が推測できたとしても、認証音1と2を正しく区別して推測しなければならず、明らかに既存手法より、認証音を推測することが困難になっていると考えられる。

次に、ランダム入力による他人受入れ率について考える。閾値 δ の時の既存手法の他人受入れ率 $R_1(\delta)$ は式(1)で、提案手法の他人受入れ率 $R_2(\delta)$ は式(2)で表される。

$$R_1(\delta) = \left(\frac{1}{2}\right)^m \sum_{i=0}^{m-\delta} \binom{m}{m-i} \quad (1)$$

$$R_2(\delta) = \sum_{i=0}^{m-\delta} \binom{m}{m-i} \left(\frac{1}{4}\right)^m \left(\frac{3}{4}\right)^{m-\delta} \quad (2)$$

式(1)および式(2)に基づいて計算した、既存手法と提案手法の閾値 $\delta = 3, \delta = 4$ でのランダム入力による他人受入れ率を表1に示す。この表から、提案手法ではランダム入力による他人受入れ率は1%未満と非常に小さな値になることがわかる。

表 1: ランダム入力による他人受入れ率

| 手法 | $\delta = 3$ | $\delta = 4$ |
|------|--------------|--------------|
| 既存手法 | 31.25% | 6.25% |
| 提案手法 | 0.05% | 0.004% |

8 おわりに

本稿では、カクテルパーティ効果を利用した個人認証システムの改良を行い、認証精度と安全性に関する考察を行った。著者らが従来行った実験結果との比較から、聞き取り誤りを認めない場合の本人認証精度は既存システムより劣るものの、聞き取り誤りを認めると認証率はほとんど劣化しないことが明らかになった。また、盗み聞きと覗き見が行われた場合を想定すると、提案システムの方が安全性が大きく向上することがわかった。さらに、提案システムはランダム入力時の他人受入れ率も、十分小さい値を取り安全性が高いことが明らかとなった。

参考文献

- [1] 山本匠, 小島悠子, 西垣正勝, “時間的曖昧入力方式による覗き見耐性画像認証方式,” コンピュータセキュリティシンポジウム2008 論文集, pp.157-162, 2008.
- [2] 原田篤史, 漁田武雄, 水野忠則, 西垣正勝, “画像記憶のスキーマを利用したユーザ認証システム,” 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.8, 1997-2013, 2005-8.
- [3] 高田哲司, “fakePointer: 映像記録による覗き見攻撃にも安全な認証手法,” 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.9, pp.3051-3061, 2008-09.
- [4] 山口晶大, 石田秀春, 納富一宏, 斉藤恵一, “打鍵リズムによるバイオメトリクス認証におけるなりすましの評価,” バイオメディカル・ファジィ・システム学会大会講演論文集, Vol.21, pp.124-125, 2008-10.
- [5] 竹田昂生, 稲葉宏幸, “カクテルパーティ効果を利用した音声の聞き分けによる個人認証

システムに関する考察,” 信学技報, Vol.112,
No.489, pp.163-168, 2013-03.

- [6] Colin E. Cherry, “Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears,” Journal of the Acoustical Society of America, Vol.25, NO.5, pp.975-979, 1953.
- [7] 今泉敏, 森浩一, 桐谷滋, 湯本真人, “脳磁図によるカクテルパーティ効果の脳内過程観測,” Audiology Japan, Vol.38, NO.5, pp.747-748, 1995-9.
- [8] 松本正幸, 村越一支, 中村清彦, “雑音中からの連続音知覚における繰り返し学習の効果,” 信学技報, Vol.NC 100, No.490, pp.53-58, 2000-12.

表 2: ランダム入力による他人受入れ率

| 音源 | 作品 | 著者 | 朗読者 | 声 | 出展 | 再生開始位置 [sec] |
|-----|------------------|-------------|-------|----|------|--------------|
| q1 | 津軽 | 太宰治 | 大友洋之 | 男声 | [12] | 102.58 |
| q2 | がちょうのたんじょうび | 新美南吉 | 石崎一気 | 男声 | [12] | 26.99 |
| q3 | 木の祭り | 新美南吉 | 菅野秀之 | 男声 | [12] | 31.40 |
| q4 | 喫茶店にて | 萩原 朔太郎 | 野村洋二 | 男声 | [12] | 10.22 |
| q5 | 黒猫 | エドガー・アラン・ポー | 楠見知輝 | 男声 | [12] | 27.12 |
| q6 | あの頃の自分のこと | 芥川龍之介 | 甲斐卓雄 | 男声 | [13] | 8.91 |
| q7 | インドラの綱 | 宮沢賢治 | 瀧澤正隆 | 男声 | [13] | 18.59 |
| q8 | 河童小僧 | 岡本綺堂 | 柳沼大輔 | 男声 | [13] | 41.59 |
| q9 | 力婦伝 | 池波正太郎 | 三浦久司 | 男声 | [13] | 20.00 |
| q10 | 吉野山 | 太宰治 | 森一海 | 男声 | [13] | 27.59 |
| q11 | 或社会主義者 | 芥川龍之介 | 内野一 | 男声 | [14] | 27.24 |
| q12 | 千曲川のスケッチ | 島崎藤村 | 河野清人 | 男声 | [15] | 20.99 |
| q13 | 勲章 | 竹内浩三 | 佐々木健 | 男声 | [16] | 81.57 |
| q14 | 走れメロス | 太宰治 | 日高徹郎 | 男声 | [17] | 26.93 |
| q15 | 心象スケッチ春と修羅 | 宮沢賢治 | 清水鱗造 | 男声 | [18] | 15.14 |
| q16 | 殿様の茶わん | 小川未明 | 北島靖久 | 男声 | [19] | 47.13 |
| q17 | 桜の樹の下には | 梶井基次郎 | 加藤純子 | 女声 | [12] | 148.68 |
| q18 | ごん狐 | 新美南吉 | 畠山有香 | 女声 | [12] | 11.22 |
| q19 | 火の玉を見たこと | 牧野富太郎 | 福井一恵 | 女声 | [12] | 13.26 |
| q20 | 言いたい事と言わねばならない事と | 桐生悠々 | 谷岡理香 | 女声 | [12] | 22.91 |
| q21 | 永日小品柿 | 夏目漱石 | 小林きく江 | 女声 | [12] | 284.75 |
| q22 | 蜜柑 | 芥川龍之介 | 土屋房枝 | 女声 | [12] | 16.02 |
| q23 | ニッケルの文鎮 | 甲賀三郎 | 宮本容子 | 女声 | [12] | 15.76 |
| q24 | 野菊の墓 | 伊藤左千夫 | 松島トキ子 | 女声 | [12] | 24.88 |
| q25 | おきなぐさ | 宮沢賢治 | 野崎明美 | 女声 | [12] | 18.80 |
| q26 | ラヂオ漫談 | 萩原朔太郎 | 富田美苗 | 女声 | [12] | 58.82 |
| q27 | 晩春 | 岡本かの子 | 池戸美香 | 女声 | [12] | 55.13 |
| q28 | 蒼穹 | 梶井基次郎 | 吉江美也子 | 女声 | [12] | 14.19 |
| q29 | 高瀬舟 | 森鷗外 | 吉塚すみ子 | 女声 | [12] | 109.06 |
| q30 | 月夜とめがね | 小川未明 | 緒方朋恵 | 女声 | [12] | 18.00 |
| q31 | 若鮎について | 北大路魯山人 | 小川幸香 | 女声 | [12] | 40.35 |
| q32 | 世の中と女 | 芥川龍之介 | 竹田のり子 | 女声 | [12] | 11.58 |