

博士論文（要約）

聴覚における時間的な対応付けに関する

実験心理学的研究

東京大学大学院人文社会系研究科

基礎文化研究専攻 心理学専門分野

金谷翔子

目次

要旨	1
第1章 序論	8
1.1 知覚系における並列処理と感覚情報間の対応付け	9
1.1.1 知覚系における並列処理	9
1.1.2 対応付け	10
1.1.3 バインディングと聴覚情景分析	12
1.2 同時性に基づく対応付け	14
1.2.1 対応付けの手掛かり	14
1.2.2 同時性に基づく対応付け	15
1.2.3 同時性に基づく対応付けの限界	18
1.3 対応付けの時間限界	20
1.3.1 時間位相弁別課題	20
1.3.2 視覚, クロスモダリティの対応付けの時間限界	23
1.3.2.1 視覚属性内の対応付け	25
1.3.2.2 視覚属性間, 感覚モダリティ間の対応付け	29
1.3.2.3 対応付けの時間限界が示唆するもの	31
1.3.3 聴覚における時間的な対応付けに関する先行研究	34
1.3.4 聴覚における時間位相弁別課題の必要性	36
1.4 聴覚系の構造と機能	39
1.4.1 聴覚末梢系	39
1.4.2 聴覚末梢系における周波数分析	42
1.4.3 聴覚中枢系	48
1.4.4 聴知覚の基礎的機構	51
1.4.4.1 音の大きさ	51
1.4.4.2 音の高さ	54

1.5	本研究の目的とアプローチ	55
1.5.1	研究の背景のまとめ	55
1.5.2	本研究の目的とアプローチ	56
第2章	聴覚クラス内の対応付けの時間限界	59
2.1	実験1 周波数距離の影響	60
2.1.1	目的	60
2.1.2	方法	62
2.1.2.1	参加者	62
2.1.2.2	装置	62
2.1.2.3	刺激	63
2.1.2.4	条件	67
2.1.2.5	手続き	69
2.1.3	結果と考察	72
2.2	実験2 刺激の呈示耳の影響	76
2.2.1	目的	76
2.2.2	方法	77
2.2.2.1	参加者	77
2.2.2.2	刺激	77
2.2.2.3	条件	78
2.2.2.4	手続き	78
2.2.3	結果と考察	79
2.3	実験1,2を通して	84
第3章	聴覚クラス内／間の対応付けの時間限界の比較	89
3.1	実験3 聴覚クラス内／間の時間位相弁別課題の比較	90
3.1.1	目的	90
3.1.2	方法	91
3.1.2.1	参加者	91
3.1.2.2	刺激	91
3.1.2.3	条件	98

3.1.2.4	手続き	100
3.1.3	結果と考察	101
3.1.4	実験3 補足実験	106
3.2	実験4 末梢の手掛かりを排除した聴覚クラス内/間の時間位相弁別課題の比較	110
3.2.1	目的	110
3.2.2	方法	115
3.2.2.1	参加者	115
3.2.2.2	刺激	115
3.2.2.3	条件	122
3.2.2.4	手続き	123
3.2.3	結果と考察	123
3.3	実験5 刺激系列内における交替の顕著性の影響	130
3.3.1	目的	131
3.3.2	方法	131
3.3.2.1	参加者	131
3.3.2.2	刺激	131
3.3.2.3	条件	133
3.3.2.4	手続き	133
3.3.3	結果と考察	134
3.4	実験3~5を通して	139
3.4.1	実験結果のまとめ	139
3.4.2	実験3と実験4,5の結果の比較	140
3.4.3	聴覚クラス間の対応付けの時間限界	142
第4章	総合考察	145
4.1	視覚と聴覚における時間的な対応付け	146
4.1.1	本研究の結果のまとめ	146
4.1.2	時間位相弁別課題の遂行方略	147
4.1.2.1	二つの刺激系列を別個のものとして聞く場合	148
4.1.2.2	二つの刺激系列をまとまった一つの音として聞く場合	150
4.1.3	対応付けの時間限界が示唆するもの	156

4.1.3.1	低次の専用機構によって行われる対応付け.....	156
4.1.3.2	高次の汎用的な機構によって行われる対応付け	160
4.1.4	視覚と聴覚の対応付けの共通点と相違点	163
4.2	時間位相弁別課題を用いた視聴覚間比較.....	168
4.2.1	刺激の空間的定位.....	168
4.2.2	「聴覚クラス」の妥当性	170
4.2.3	知覚的な時間ずれの影響	172
4.2.4	例外的な時間限界.....	173
4.2.5	刺激系列の交替波形の影響.....	175
4.3	聴覚の関連研究との比較.....	176
4.3.1	同時に呈示される聴覚情報間の対応付け	176
4.3.2	継時的に呈示される聴覚情報間の対応付け.....	179
4.3.3	聴覚における「属性」	184
4.4	音楽における対応付け	187
4.5	展望	191
文献		193
謝辞		200

本文

本博士論文のうち、第二章（実験 1、2）の全て、および第一章（序論）と第四章（総合考察）のうち実験 1、2 に関する部分は Perception 誌に受理され、2015 年中に公刊される予定である。また、第三章（実験 3、4、5）の全て、および第一章（序論）と第四章（総合考察）のうち実験 3、4、5 に関する部分は、もう一編の投稿論文として執筆を進めている。そのため、これら二編の投稿論文が 5 年以内に出版される予定である。

なお、Perception 誌に掲載予定の実験 1、2 に関する部分については、本博士論文の一部としてインターネット上で公表することへの共著者の同意が得られていないため、本博士論文の全文を公表することはできない。

文献

- Aghdaee, S. M., & Cavanagh, P. (2007). Temporal limits of long-range phase discrimination across the visual field. *Vision Research*, *47*(16), 2156-2163.
- Amano, K., Johnston, A., & Nishida, S. (2007). Two mechanisms underlying the effect of angle of motion direction change on colour-motion asynchrony. *Vision Research*, *47*(5), 687-705.
- Arnold, D. H. (2005). Perceptual pairing of colour and motion. *Vision Research*, *45*(24), 3015-3026.
- Asemi, N., Sugita, Y., & Suzuki, Y. (2000). Auditory search asymmetry with pure tone, narrow - band noise, amplitude - modulated tone, and frequency - modulated tone. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *107*(5), 2850-2850.
- Barlow, H. B. (1972). Single units and sensation: a neuron doctrine for perceptual psychology. *Perception*, *1*(4), 371-394.
- Bartels, A., & Zeki, S. (2006). The temporal order of binding visual attributes. *Vision Research*, *46*(14), 2280-2286.
- Blauert, J. (1972). On the lag of lateralization caused by interaural time and intensity differences. *International Journal of Audiology*, *11*, 265-270.
- Bleeck, S., Ives, T., & Patterson, R. D. (2004). Aim-mat: the auditory image model in MATLAB. *Acta Acustica united with Acustica*, *90*(4), 781-787.
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands' feel'touch that eyes see. *Nature*, *391*(6669), 756-756.
- Bregman, A. S. (1990). *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. (Bradford Books, MIT, Cambridge, MA).
- Bregman, A. S., Abramson, J., Doehring, P., & Darwin, C. J. (1985). Spectral Integration Based on Common Amplitude-Modulation. *Perception & Psychophysics*, *37*(5), 483-493.
- Bregman, A. S., & Campbell, J. (1971). Primary Auditory Stream Segregation and Perception of Order in Rapid Sequences of Tones. *Journal of Experimental Psychology*, *89*(2), 244-249.
- Burns, E. M., & Viemeister, N. F. (1976). Non-Spectral Pitch. *Journal of the Acoustical Society of America*, *60*(4), 863-869.
- Burns, E. M., & Viemeister, N. F. (1981). Played-again SAM: Further observations on the

- pitch of amplitude-modulated noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 1655-1660.
- Carlyon, R. P. (1991). Discriminating between Coherent and Incoherent Frequency-Modulation of Complex Tones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 89(1), 329-340.
- Carlyon, R. P. (1994). Further Evidence against an across-Frequency Mechanism Specific to the Detection of Frequency-Modulation (FM) Incoherence between Resolved Frequency Components. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(2), 949-961.
- Carlyon, R. P. (2000). Detecting coherent and incoherent frequency modulation. *Hearing Research*, 140(1), 173-188.
- Carlyon, R. P., & Mcadams, S. (1992). The Psychophysics of Concurrent Sound Segregation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 336(1278), 347-355.
- Clifford, C. W. G., Holcombe, A. O., & Pearson, J. (2004). Rapid global form binding with loss of associated colors. *Journal of Vision*, 4(12), 1090-1101.
- Cramer, E. M., & Huggins, W. (1958). Creation of pitch through binaural interaction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 30, 413-417.
- Cusack, R., & Carlyon, R. P. (2003). Perceptual asymmetries in audition. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 29(3), 713-725.
- Darwin, C. J. (1981). Perceptual grouping of speech components differing in fundamental frequency and onset-time. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 33(2), 185-207.
- Darwin, C. J. (1984). Perceiving vowels in the presence of another sound: Constraints on formant perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 76(6), 1636-1647.
- Drennan, W. R., Gatehouse, S., & Lever, C. (2003). Perceptual segregation of competing speech sounds: the role of spatial location. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 114(4), 2178-2189.
- Dyson, B. J., & Quinlan, P. T. (2002). Within- and between-dimensional processing in the auditory modality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(6), 1483-1498.
- Dyson, B. J., & Quinlan, P. T. (2003). Feature and conjunction processing in the auditory modality. *Perception & Psychophysics*, 65(2), 254-272.
- Formisano, E., Kim, D.-S., Di Salle, F., van de Moortele, P.-F., Ugurbil, K., & Goebel, R. (2003). Mirror-symmetric tonotopic maps in human primary auditory cortex. *Neuron*,

- 40(4), 859-869.
- Forte, J., Hogben, J. H., & Ross, J. (1999). Spatial limitations of temporal segmentation. *Vision Research*, 39(24), 4052-4061.
- Fujisaki, W., & Kashino, M. (2005). Contributions of temporal and place cues in pitch perception in absolute pitch possessors. *Perception & Psychophysics*, 67(2), 315-323.
- Fujisaki, W., & Nishida, S. (2005). Temporal frequency characteristics of synchrony-asynchrony discrimination of audio-visual signals. *Experimental Brain Research*, 166(3-4), 455-464.
- Fujisaki, W., & Nishida, S. (2010). A common perceptual temporal limit of binding synchronous inputs across different sensory attributes and modalities. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 277(1692), 2281-2290.
- Furukawa, S., & Moore, B. C. J. (1996). Across-channel processes in frequency modulation detection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(4), 2299-2311.
- Furukawa, S., & Moore, B. C. J. (1997). Dependence of frequency modulation detection on frequency modulation coherence across carriers: Effects of modulation rate, harmonicity, and roving of the carrier frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101(3), 1632-1643.
- Glasberg, B. R., & Moore, B. C. (1990). Derivation of auditory filter shapes from notched-noise data. *Hearing Research*, 47(1), 103-138.
- Grose, J. H., & Hall, J. W. (1990). The effect of modulation coherence on signal threshold in frequency - modulated noise bands. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88(2), 703-710.
- Hall, J. W., Haggard, M. P., & Fernandes, M. A. (1984). Detection in noise by spectro - temporal pattern analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 76(1), 50-56.
- Hall, J. W., Tyler, R. S., & Fernandes, M. A. (1983). Monaural and binaural auditory frequency resolution measured using bandlimited noise and notched - noise masking. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 73, 894-898.
- Hall, M. D., Pastore, R. E., Acker, B. E., & Huang, W. (2000). Evidence for auditory feature integration with spatially distributed items. *Perception & Psychophysics*, 62(6), 1243-1257.
- He, S., Cavanagh, P., & Intriligator, J. (1997). Attentional resolution. *Trends in cognitive sciences*, 1(3), 115-121.
- 平原達也. (1997). 聴覚実験に用いられるヘッドホンの物理特性. *日本音響学会誌*, 53(10), 798-806.
- Holcombe, A. O. (2001). A purely temporal transparency mechanism in the visual system.

- Perception*, 30(11), 1311-1320.
- Holcombe, A. O., & Cavanagh, P. (2001). Early binding of feature pairs for visual perception. *Nature Neuroscience*, 4(2), 127-128.
- Hopkins, K., & Moore, B. C. J. (2007). Moderate cochlear hearing loss leads to a reduced ability to use temporal fine structure information. *Journal of the Acoustical Society of America*, 122(2), 1055.
- Humphries, C., Liebenthal, E., & Binder, J. R. (2010). Tonotopic organization of human auditory cortex. *NeuroImage*, 50(3), 1202-1211.
- 石桁真礼生. (2003). 楽典: 理論と実習. 音楽之友社.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Kohlrausch, A. (1988). Auditory filter shape derived from binaural masking experiments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84, 573-583.
- Licklider, J., Webster, J., & Hedlund, J. (1950). On the frequency limits of binaural beats. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22, 468-473.
- Lyzenga, J., & Moore, B. C. (2005). Effect of frequency-modulation coherence for inharmonic stimuli: Frequency-modulation phase discrimination and identification of artificial double vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117, 1314-1325.
- Malsburg, C. v. d. (1995). Binding in models of perception and brain function. *Current Opinion in Neurobiology*, 5(4), 520-526.
- Maruya, K., Holcombe, A. O., & Nishida, S. (2013). Rapid encoding of relationships between spatially remote motion signals. *Journal of Vision*, 13(2)(2), 1-20.
- Miller, G. A., & Heise, G. A. (1950). The Trill Threshold. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22(5), 637-638.
- Moore, B. C. J., Glasberg, B. R., & Flanagan, H. J. (2006). Frequency discrimination of complex tones: assessing the role of component resolvability and temporal fine structure. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(1), 480-490.
- Moore, B. C. J., & Moore, B. C. (1982). *An introduction to the psychology of hearing* (Vol. 4): Academic press London.
- Moore, G. A., & Moore, B. C. (2003). Perception of the low pitch of frequency-shifted complexes. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113, 977-985.
- Moutoussis, K., & Zeki, S. (1997). A direct demonstration of perceptual asynchrony in vision. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 264, 393-399.
- Nakayama, K., & Silverman, G. H. (1986). Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature*, 320(6059), 264-265.
- Nishida, S., & Johnston, A. (2002). Marker correspondence, not processing latency,

- determines temporal binding of visual attributes. *Current Biology*, 12(5), 359-368.
- Oxenham, A. J. (2000). Influence of spatial and temporal coding on auditory gap detection. *Journal of the Acoustical Society of America* 107(4), 2215-2223.
- Penner, M. (1977). Detection of temporal gaps in noise as a measure of the decay of auditory sensation. *Journal of the Acoustical Society of America* 61(2), 552-557.
- Perrott, D. R., & Musicant, A. (1977). Minimum auditory movement angle: Binaural localization of moving sound sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 62, 1463-1466.
- Perrott, D. R., & Nelson, M. A. (1969). Limits for the detection of binaural beats. *Journal of the Acoustical Society of America*, 46(6), 1477-1481.
- Phillips, D., Hall, S., Harrington, I., & Taylor, T. (1998). "Central" auditory gap detection: a spatial case. *Journal of the Acoustical Society of America* 103(4), 2064-2068.
- Phillips, D., Taylor, T., Hall, S., Carr, M., & Mossop, J. (1997). Detection of silent intervals between noises activating different perceptual channels: some properties of "central" auditory gap detection. *Journal of the Acoustical Society of America* 101(6), 3694-3705.
- Plomp, R. (1964). Rate of decay of auditory sensation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 36(2), 277-282.
- Rasch, R. A. (1978). The perception of simultaneous notes such as in polyphonic music. *Acta Acustica united with Acustica*, 40(1), 21-33.
- Richards, V. M. (1987). Monaural envelope correlation perception. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82(5), 1621-1630.
- Ritsma, R. J. (1967). Frequencies dominant in the perception of the pitch of complex sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 42, 191-198.
- Rogers-Ramachandran, D. C., & Ramachandran, V. S. (1998). Psychophysical evidence for boundary and surface systems in human vision. *Vision Research*, 38(1), 71-77.
- Schooneveldt, G. P., & Moore, B. C. (1987). Comodulation masking release (CMR): Effects of signal frequency, flanking - band frequency, masker bandwidth, flanking - band level, and monotic versus dichotic presentation of the flanking band. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 1944-1956.
- Shimada, S., Fukuda, K., & Hiraki, K. (2009). Rubber hand illusion under delayed visual feedback. *PLoS One*, 4(7), e6185.
- Singer, W. (1993). Synchronization of cortical activity and its putative role in information processing and learning. *Annual Review of Physiology*, 55(1), 349-374.
- Singer, W., & Gray, C. M. (1995). Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 555-586.

- Strickland, E. A., Viemeister, N. F., Fantini, D. A., & Garrison, M. A. (1989). Within-Versus Cross-Channel Mechanisms in Detection of Envelope Phase Disparity. *Journal of the Acoustical Society of America*, *86*(6), 2160-2166.
- Suzuki, S., & Grabowecky, M. (2002). Overlapping features can be parsed on the basis of rapid temporal cues that produce stable emergent percepts. *Vision Research*, *42*(24), 2669-2692.
- Thompson, W. F. (1994). Sensitivity to combinations of musical parameters: Pitch with duration, and pitch pattern with durational pattern. *Perception & Psychophysics*, *56*(3), 363-374.
- Thompson, W. F., Hall, M. D., & Pressing, J. (2001). Illusory conjunctions of pitch and duration in unfamiliar tone sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*(1), 128-140.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth bartlett memorial lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *40*(2), 201-237.
- Treisman, A. (1996). The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, *6*(2), 171-178.
- Treisman, A., & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, *14*(1), 107-141.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). Feature-Integration Theory of Attention. *Cognitive Psychology*, *12*(1), 97-136.
- Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005). The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuotactile Integration and Self-Attribution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*(1), 80-91.
- Tsakiris, M., Prabhu, G., & Haggard, P. (2006). Having a body versus moving your body: How agency structures body-ownership. *Consciousness and Cognition*, *15*(2), 423-432.
- van Noorden, L. P. A. S. (1977). Minimum differences of level and frequency for perceptual fission of tone sequences ABAB. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *61*(4), 1041-1045.
- Verstraten, F. A. J., Cavanagh, P., & Labianca, A. T. (2000). Limits of attentive tracking reveal temporal properties of attention. *Vision Research*, *40*(26), 3651-3664.
- Victor, J. D., & Conte, M. M. (2002). Temporal phase discrimination depends critically on separation. *Vision Research*, *42*(17), 2063-2071.
- Warren, R. M., Obusek, C. J., & Farmer, R. M. (1969). Auditory Sequence - Confusion of Patterns Other Than Speech or Music. *Science*, *164*(3879), 586-&.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology:*

- Human Perception and Performance*, 15(3), 419-433.
- Woods, D. L., Alain, C., & Ogawa, K. H. (1998). Conjoining auditory and visual features during high-rate serial presentation: Processing and conjoining two features can be faster than processing one. *Perception & Psychophysics*, 60(2), 239-249.
- Yost, W. A. (1996a). Pitch of iterated rippled noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(1), 511-518.
- Yost, W. A. (1996b). Pitch strength of iterated rippled noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(5), 3329-3335.
- Yost, W. A., & Sheft, S. (1989). Across-critical-band processing of amplitude-modulated tones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85(2), 848-857.
- Zurek, P., & Durlach, N. (1987). Masker-bandwidth dependence in homophasic and antiphase tone detection. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 81, 459-464.

論文の内容の要旨

論文題目 聴覚における時間的な対応付けに関する実験心理学的研究
氏名 金谷翔子

人間の知覚系においては、様々な感覚モダリティや感覚属性の情報が、ある程度独立に
入力、処理されている。そのため、脳が一体感のある世界を知覚するためには、ばらばらになっ
た感覚情報を正しく組み合わせる必要がある。独立に入力された複数の感覚情報や、独立な処理
の出力結果を組み合わせることによって、何らかの知覚的経験を生じさせる神経系の働きのこと
を「対応付け」と呼ぶ。感覚情報間の同時性は、対応付けの重要な手掛かりと考えられる。本研
究では、同時性に基づく対応付けがどのように行われているのか、調べることを目的とした。第
1章では、まず、研究の背景と問題について論じた。

同時性に基づく対応付けには、時間的な限界（時間限界）があることが知られている。
時間限界を測定することによって、対応付けを行う機構の時間特性を推定できると考えられる。
様々な感覚情報間の対応付けの時間限界を説明するような一般法則を見出すことができれば、知
覚系全体における対応付けの仕組みについて、理解が進むだろう。そのためには、様々な感覚情
報間の対応付けの時間限界を、同じ課題、同じ指標、同じ参加者を用いて測定する必要がある。

これまでに、時間位相弁別課題を用いて、様々な感覚情報間の対応付けの時間限界が報

告されている。位相弁別課題とは、二値の特徴の交替からなる刺激系列 (e. g. A-B-A-B..., X-Y-X-Y...) を二つ同時に呈示し、系列間の位相関係 (e. g. A と同時に呈示されていたのが X か Y か) によって定義される二つの状態を弁別させるものである。観察者が課題を安定的に遂行できなくなる限界の交替周波数のことを、この課題の時間限界と呼ぶ。これは対応付けの時間限界を反映するものと考えられる。

時間位相弁別課題はこれまで、主に視覚やクロスモダリティの研究において用いられてきた。その結果、大きく分けて二つの法則が存在することが分かっている。一つ目として、同じ視覚属性内の対応付け (e. g. 輝度-輝度) においては、比較的高い時間限界が観察される。また、その値は、刺激系列間の空間的な距離や、二つの刺激系列を構成する特徴の異同といったパラメータを変化させることによって、様々に変化する。二つ目として、異なる視覚属性間の対応付け (e. g. 色-方位) や、感覚モダリティ間の対応付け (e. g. 視覚-聴覚) においては、低い時間限界が観察される。また、その値は、視覚属性や感覚モダリティの組み合わせによらず、非常に安定している。一つ目の法則は、視覚属性内の対応付けが、低次の様々な専用機構において行われていることを示唆する。二つ目の法則は、視覚属性間、感覚モダリティ間の対応付けが、感覚モダリティをまたぐ高次の汎用機構において行われていることを示唆する。

同様の傾向が視覚以外の感覚モダリティでも観察されるなら、これらは知覚系全体の対応付けに当てはまる一般法則と考えられる。そこで、本研究では、時間位相弁別課題を聴覚に適用し、同様の傾向が聴覚でも観察されるかを検討した。視覚属性間、感覚モダリティ間の対応付けが、本当に感覚モダリティをまたぐ高次機構によって行われているならば、少なくとも二つ目の法則は聴覚にも当てはまると考えられる。視覚属性とは、色や方位のように知覚的に異質であるだけでなく、神経系においてある程度独立に処理されている視覚情報のことを指す。つまり、視覚属性間の対応付けとは、視覚系の中で独立に表現されている情報同士の対応付けと考えることができる。しかし、聴覚においては、音の大きさ、高さ、音色といった知覚的な属性が、必ずしも神経系において独立に表現されていない可能性がある。そのため、本研究では、視覚属性に相当する聴覚情報の単位として「聴覚クラス」を定義した。聴覚クラスとは、聴覚系において少なくとも機能的に、ある程度独立と考えられる機構によって処理される聴覚情報のことである。

具体的には、音高の知覚に関わる二つの情報（場所情報，時間情報）や、音の大きさの知覚に関わる情報（聴神経発火頻度）が挙げられる。

第2章の実験1,2では、時間位相弁別課題が聴覚にも適用可能かを確認すること、および、一つ目の法則が聴覚に当てはまるかを調べることを目的とした。聴覚クラス内の対応付けにおいて比較的高い時間限界が観察されるか、また、その値が刺激のパラメータによって様々に変化するかを調べた。聴覚クラスとして、純音の周波数を用いた。視覚属性間の対応付けにおいて操作されていた刺激系列間の空間的距離や、二つの刺激系列を構成する特徴の異同は、低次の情報表現における刺激系列間の類似度と言える。聴覚において、これに相当するものは、刺激系列間の周波数距離や、呈示する耳（別耳／同耳）である。そこで、実験1では、刺激系列間の周波数距離が十分に小さい条件（近距離条件）と、十分に離れた条件（遠距離条件）を比較した。実験2では、二つの刺激系列を左右の耳に別々に呈示する条件（別耳条件）と、一つの耳に併せて呈示する条件（同耳条件）を比較した。実験の結果、時間位相弁別課題が聴覚にも適用可能であることが示された。実験1では、近距離条件において約18 Hzの時間限界が観察され、これは遠距離条件（約7 Hz）よりも高い値であった。実験2では、同耳条件において約30 Hzの時間限界が観察され、これは別耳条件（約15 Hz）よりも高い値であった。これらの結果から、聴覚でも同じ属性内の対応付けにおいては、比較的高い時間限界が観察されることが分かった。また、その値は、刺激のパラメータによって様々に変化することが分かった。このことは、視覚属性内の対応付けにおいて観察される傾向と類似している。

第3章の実験3～5では、二つ目の法則が聴覚に当てはまるかを調べることを目的とした。実験3では、純音（場所情報，時間情報の両方）、狭帯域雑音（主に場所情報）、反復リプル雑音（時間情報）という三つのクラスを作成し、クラス内条件を一つ、クラス間条件を二つ設けた。また、先行研究の追試である視覚属性内条件，視覚属性間条件を設けた。その結果、クラス内条件（純音 - 純音）では非常に高い時間限界（約20 Hz）が観察された。一方、クラス間条件（純音 - 狭帯域雑音，純音 - 反復リプル雑音）では低く，比較的安定した時間限界（約2.5～3.5 Hz）が観察された。実験4では，低次の手掛かりが利用される可能性をできる限り排除し，改めてクラス内／間の対応付けの時間限界を比較した。振幅（聴神経発火頻度），周波数（場所情報，

時間情報の両方)、F0 (主に時間情報) という三つのクラスを作成し、全てのクラスを偏りなく組み合わせ、クラス内条件を三つ、クラス間条件を三つ設けた。また、実験4でも、視覚の先行研究の追試を行い、その結果、クラス内の振幅 - 振幅条件を除く全ての条件で、低く、比較的安定した時間限界 (約3~4 Hz) が観察された。振幅 - 振幅条件の時間限界は若干高く、約5 Hzであった。実験5では、実験4で用いた三クラスの刺激系列における交替の顕著性を高めて、同様の比較を行った。その結果、振幅 - 振幅条件では約10 Hzに上昇したが、その他の条件では実験4とほぼ変わらない結果が得られた。

なお、実験3~5では、聴覚の条件のみならず、同じ参加者を用いて視覚の先行研究の追試を行い、先行研究と一致する結果が得られることを確かめた。このため、これらの聴覚の時間限界は、先行研究で報告されてきた視覚の時間限界と直接比較することができる。

実験3の純音 - 純音条件や、実験4-5の振幅 - 振幅条件においては、低次の手掛かりや、振幅と振幅の対応付けを行う専用機構が利用できた可能性がある。一方、その他の聴覚クラス間条件、および実験4-5の周波数 - 周波数条件、F0-F0条件においては、低次機構は利用できなかったと考えられる。このような場合、対応付けの時間限界は、約2.5~4 Hzという、低く比較的安定した値になることが分かった。この値は、視覚属性間や感覚モダリティ間の対応付けにおいて観察される2.5 Hzよりも若干高いが、傾向は大筋で視覚と類似している。

第4章では、以上の結果が反映する聴覚系および知覚系全体の情報処理について、考察を行った。実験1~5からは、視覚やクロスモダリティの研究で報告されてきた二つの法則と一致する傾向が、聴覚でも観察されることが示された。まず、一つ目の法則が聴覚にも当てはまることから、聴覚属性内の対応付けが、様々な低次機構によって行われていることが示唆される。さらに、二つ目の法則が大筋で聴覚にも当てはまることから、主に聴覚クラス間の対応付けが、比較的高次の汎用的な機構によって行われていることが示唆される。この機構は、聴覚専用の高次機構とも、感覚モダリティをまたぐ高次の汎用機構とも考えられる。本研究では、低次から高次までの様々な対応付け機構の時間限界が示されたが、これは聴覚系の階層処理を心理物理学的に表現するものと考えられる。このような階層的な対応付けは、感覚モダリティによらない、知覚系の一般法則であると考えられる。