

広島大学学術情報リポジトリ
Hiroshima University Institutional Repository

Title	DNA music of humans and giant salamander
Author(s)	Miura, Ikuo
Citation	Dialogue in science and religion scientific apologetic seminar : 95 - 109
Issue Date	2018
DOI	
Self DOI	
URL	https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00046412
Right	© Ekaterinburg Theological Seminary, Ikuo Miura, 2018
Relation	



Религиозная организация —
духовная образовательная организация высшего образования
«Екатеринбургская духовная семинария
Екатеринбургской епархии Русской Православной Церкви»

Миссионерский отдел
Екатеринбургской епархии Русской Православной Церкви»

ДИАЛОГ НАУКИ И РЕЛИГИИ

Сборник материалов работы
научно-апологетического семинара
(Екатеринбург, 2013–2018 гг.)

Екатеринбург
2018

Ikuo Miura

DNA MUSIC OF HUMANS AND GIANT SALAMANDER

The DNA genetic code, which is common to all organisms on the earth, and music, a product of human intellect, share the same composition principle of repetitious recurrence. Thus, DNA sequences can be transformed into musical scores. In this article, I introduce one example of music generated from transforming the genome sequences of humans and the giant salamander, a unique creature inhabiting the Japanese islands.

Key words: *genome, musical score, composition principle, repetitious recurrence.*

In nature, male birds, frogs, and insects perform songs to attract females. The basic phrase of these songs is simple, short, and repeated. This kind of song is commonly sung by many animals across the world. On the other hand, words are a communication tool specifically developed by humans. Word is described in the first part of the Gospel according to St. John, "In the beginning was the Word, and the Word was with God and the Word was God." Thus, 'word' was present at the beginning of human history. However, what about music? Music is believed to be a product of human intellect; no other creature on Earth compose music, which is more complex in structure and much longer than the songs of animals that are produced to attract females. Above all, music has great potential to relax, encourage, and impress humans, and cause them to become attracted to their sexual partners, similar to that in other animals. Music is an intellectual endeavor that is specific to humans.

All creatures in the world, including humans, are self-replicated. The genetic information for each individual is described by their DNA, which is called the 'genome' and includes instructions to make up the body and control the biological activities for living, such as metabolism, homeostasis, and reproduction. The molecular structure of DNA was first unraveled by Watson and Crick in 1953, who showed that genetic information (or genetic code) comprises only four letters that represent four nucleotide bases, namely, adenine (A), guanine (G), thymine (T), and cytosine (C).

The human genome is composed of 30 billion bases and was first decoded in 2003. Since then, the genomes of numerous organisms from bacteria to plants have been decoded and this approach is being extended to an increasing number of organisms.

In 1986, Dr. Susumu Ohno and his wife Midori Ohno published a paper on DNA music. They found that the DNA genetic code and music share the same composition principle, a repetitious recurrence. Individual genes in the genome have been duplicated and triplicated, often to the point of redundancy; genomes can consist of numerous variously truncated, base-substituted copies of the original primordial building blocks¹ (Ohno, 1970; Ohno and Ohno, 1986). Likewise, music composition relies on the same principle of repetitious recurrence. In fact, you can easily see this principle in 'the Art of Fugue', composed by Johann Sebastian Bach in the 1740s, which is a representative example and consists of repeats of a simple phrase comprising just 13 notes. Accordingly, Ohno's finding indicates that base sequences of DNA can be transformed into musical scores. Therefore, we can listen to music composed by translating the genomes of all creatures as well as humans. The genetic code is written with four letters, while an octave of western music is written with eight notes. Thus, one base needs to be transformed into one of two notes. Ohno proposed a one set rule for the transformation of DNA sequences into musical scores (Fig. 1). Purines (adenine and guanine) have a higher (heavier) molecular weight than pyrimidines (thymine and cytosine). The four bases are, thus, arranged in the ascending order of A, G, T, C, according to their complementary relationships of A to T and G to C. Two notes were divided to one base: re and mi to A, fa and sol to G, la and si to T, and do and re of higher octave to C. The choice of which of the two notes to use depends on the composer.

Here, I introduce one example of DNA music from the human and giant salamander genomes. Giant salamanders are a unique, unusual creature in the world and are the largest living amphibians (1,5–1,8 m at the maximum length) comprising of only three species. One of the three

¹ Ohno S. Evolution by gene duplication. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1970; Ohno S., Ohno M. The all pervasive principle of repetitious recurrence governs not only coding sequence construction but also human endeavor in musical composition. Immunogenetics. № 24. 1986. P. 71–78.

species is found in Japan, normally in small rivers with clear water in forests, or close to paddy fields (Fig. 2). We chose the gene HoxA13, which is involved in finger formation (we wanted to listen to the music of the finger formation gene played with fingers on a piano). The 87 bases fragment of the DNA binding domain encoding 29 amino acids, a functionally important region, was amplified and the nucleotide sequence (genetic code) was determined. Consistent with Ohno's observations, we identified six repeats of a hexamer, including GAA, and then transformed the genetic codes into musical scores according to Ohno's one set rule² (Fig. 3). Next, we determined the genetic codes of the same region of HoxA13 from humans and composed the musical scores as well. Twenty out of 87 bases (23%) were different from those of the giant salamander (Fig. 4). You can listen to and compare both of the two musical scores on our website³. Further, we composed DNA music from two other regions of the giant salamander genome: the mitochondrial non-coding region and ATPase⁴. Finally, we decoded the 258 bases of repeated sequence included in the nuclear genome of the giant salamander. Its function is unknown, but around 600 thousand copies are distributed across the genome. The sequence is indeed repetitious because within the 258 bases, an octameris repeated 12 times and each of two other phrases are also repeated twice (Fig. 5). The professional composer Masamichi Sugi created a musical score of the DNA sequence transformed in this study, as shown in fig. 6, and you can listen to the music on the above website.

Music is a product of human intellect because other organisms do not compose music. However, using Ohno's one set rule, we can compose music from the genetic codes of all organisms in the world. I have introduced these DNA musical scores to people in Japan, Finland, Australia, and Russia since 2004. Most people enjoyed the music, while some were against the idea, saying that this is an artificial product, rather than a scientific one. Nobody knows what DNA music means in science and culture. However, we know that Ohno's idea is simply based on the shared

² *Miura I.* Musical composition based on the genome of giant salamander: Science, romance and unknown world of life. *Bioscience and Industry*. № 63. 2005. P. 50–53.

³ Hiroshima University Institutional Repository. URL: <http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/en/00000134>.

⁴ *Ibid.*

composition principle of repetitious recurrence common to DNA and music. We also know that DNA music can be beautiful, attractive, and interesting.

Acknowledgements

I express my sincere thanks to the students and teachers of Hiroshima Kokutaiji High School (Japan) for sequence analysis and Yukio Fukumoto and Kazushi Kuwahara of Hiroshima city Asa Zoological park for research collaboration on giant salamanders, and to Trevayne Fernandez, Australia, for arranging and playing the musical scores on a piano.

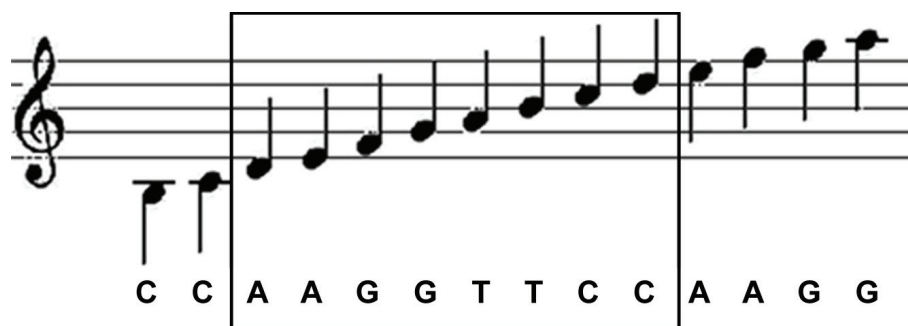


Figure 1. Ohno’s one set rule to transform DNA sequences into musical scores (modified from figure 2 from Ohno and Ohno, 1986).

One octave is boxed from re to next re.

Рис. 1. Одно из правил Оно — преобразования последовательности ДНК в музыкальные партитуры (модифицированный рис. 2 из Оно и Оно, 1986). Одна октава помещается в прямоугольник от ре до следующего ре

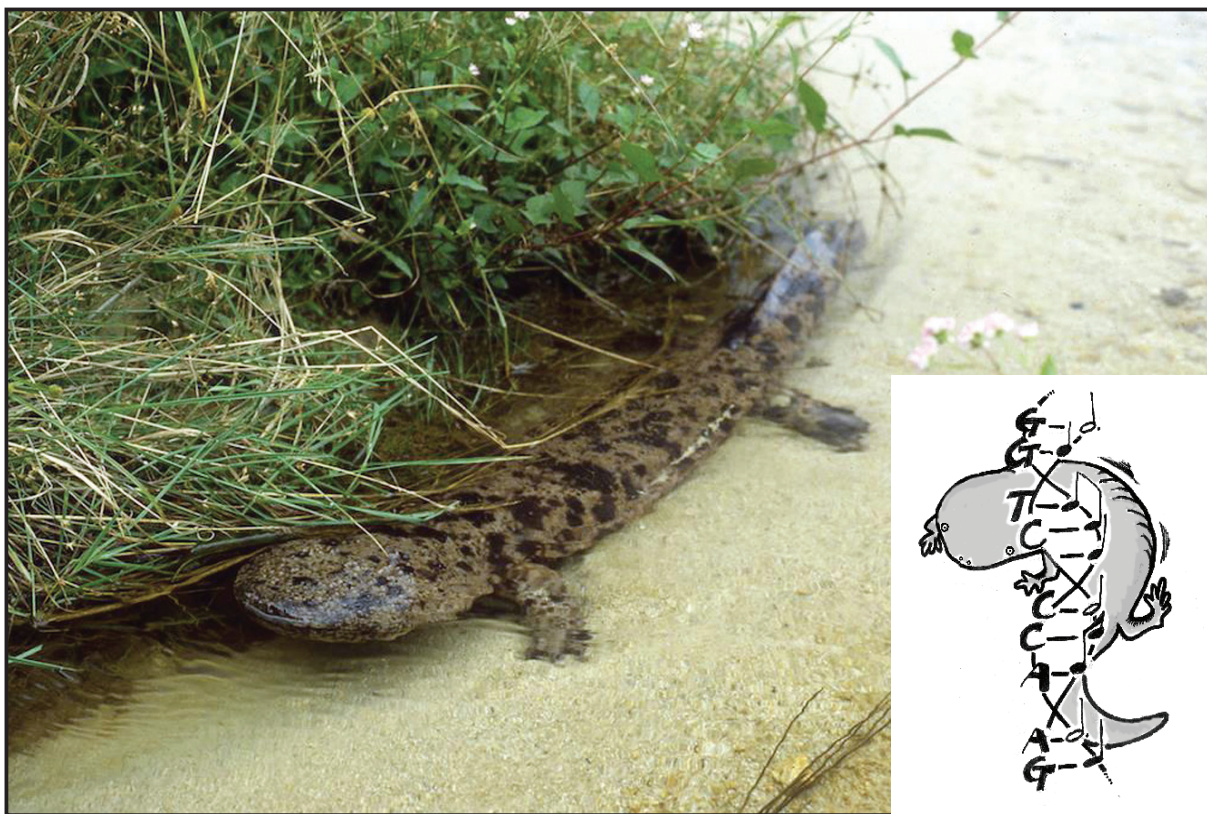


Figure 2. Japanese giant salamander (*Andrias japonicus*). The picture is kindly provided by Hiroshima city Asa zoological park.

Рис. 2. Японская исполинская саламандра (*Andrias japonicus*). Фотография любезно предоставлена зоологическим парком Аса города Хиросимы

Giant salamander

G Em G Am D7 G D B7
 G A A C T G G A A A G A G A A T A T
 E L E R E Y
 Em Am C D7
 G C G A C A A A C A A A T T C A T T A C C A A G G A C
 A T N K F I T K D
 G D7 G Em G D C D7
 G A A C G A A G A A G A A T A T C C G C A A C T A C
 K R R R I S A T T
 Am D7 Am D7 Gmajor 7
 A A G C C T C T C A G A G A G G
 S L S E R

Figure 3. Musical score, transformed from the giant salamander HoxA13 gene sequence. Bases are shown below notes, and amino acids are shown as one letter below bases. Hexamers are indicated by a bar; GAA is indicated by a closed bar. Other repeats are underlined.

Arranged by Trevayne Fernandez.

Рис. 3. Музыкальная интерпретация, трансформированная из последовательности генов исполинской саламандры НохА13. Основания показаны ниже примечаниями, а аминокислоты показаны одной буквой ниже оснований. Шестибуквенники (гексамеры) обозначены полоской; GAA обозначается заливкой полоской. Другие повторы подчеркнуты.

Аранжировщик: Тревайн Фернандес

Human

The figure displays a musical score for the human HoxA13 gene sequence, arranged in four staves. Each staff shows a musical line in 6/8 time with a key signature of two flats (Bb, Eb). Above each staff are chord symbols, and below are DNA sequences with corresponding amino acid translations. Bases that differ from the giant salamander are highlighted in red.

Staff 1: Chords: Cm, Gm(B⁶), A⁶ major 7, G7, Cm, F. DNA: GAACTT (E L), GAA C G G (E R), GAA TAC (E Y).

Staff 2: Chords: G7, Cm, Cm, B⁶, A⁶, Fm, A⁶, D^{dim} 7. DNA: G C C A (A), C C A A (T N), T A A A (K), T T C A T T A C T (F I T), A A G G A C (K D).

Staff 3: Chords: Fm, G7, Cm, Gm(B⁶), A⁶ major 7, Fm, Cm, D^{dim} 7, Cm, Fm⁶. DNA: A A A C (K), G G A G G C (R R), G G A T A T (R I), C A G C C A C G A C (S A T T).

Staff 4: Chords: Cm, Gm(B⁶), A⁶, E⁶(G), Fm, G7, Cm. DNA: G A A (N), T C T C (L S), T G A G C G (E R), G.

Figure 4. Musical score, transformed from the human HoxA13 gene sequence.

Abbreviations are the same as in Figure 3. The bases that are different from those of the giant salamander are indicated in red.

Arranged by Trevayne Fernandez.

Рис. 4. Музыкальная фраза, трансформированная из последовательности генов HoxA13 человека. Сокращения те же, что и на рис. 3.

Основания, которые отличаются от таковых у исполинской саламандры, обозначены красным цветом.

Аранжировщик: Тревайн Фернандес

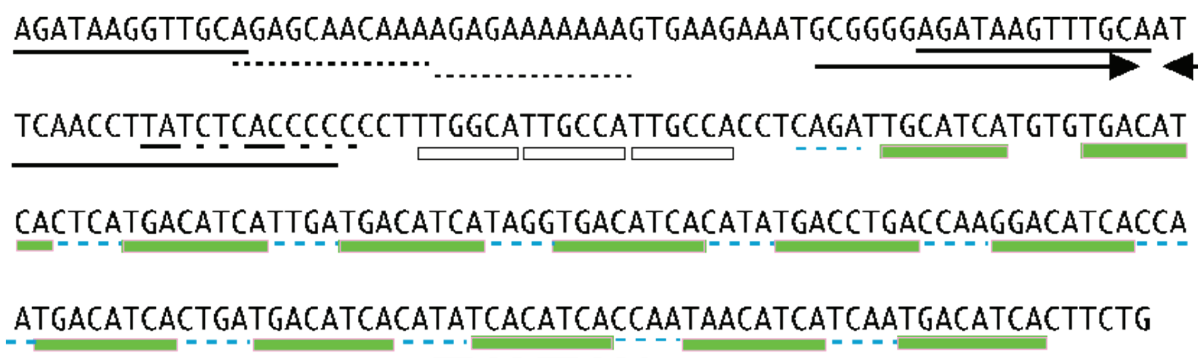


Figure 5. Repeated sequences isolated from the nuclear genome of the giant salamander. Within the sequence, repeated units are indicated by solid and dotted lines as well as open bars. Octamers, which are repeated 12 times, are indicated by green bars. Partial palindromes (the two sequences are complementary to each other if read from the starting ends of the arrows) are indicated by arrows.

Рис. 5. Повторяющиеся последовательности, выделенные из ядерного генома исполинской саламандры. Повторяющиеся блоки внутри последовательности обозначены сплошными и пунктирными линиями, а также незалитыми полосками. Восемьбуквенные сочетания (октамеры), которые повторяются 12 раз, обозначены зелеными полосками. Частичные палиндромы (две последовательности, дополняющие друг друга, если они считываются со стартовых концов стрелок) обозначены стрелками

作曲 杉真理
編曲 小泉信彦

DNA (C) (Piano用)

Handwritten musical score for "DNA (C) (Piano use)". The score is written on ten staves, with the first staff in treble clef and the second in bass clef. The key signature has one sharp (F#). The score includes various musical notations such as notes, rests, and accidentals. Chord symbols are written above and below the staves, including G, G/C, G/Cdim, G, G#tr, C, Em, Bb7, Ab, C, Cm, G/B, Bbdim, Am7, Cm, Am7, Cm/Cdim, D, G, Am7/D, G/G#, C/Cdim, G, B+, C, D7, Bm7, E7/Ab, C6, B7, Em7, Em, C6, Cdim, G/B, Bbdim, Am7, D7-9, G, Dm7, G9, C, Cm6, G, G#7/B, and C. The score is divided into sections A and B. Section A starts at the beginning and ends at the end of the eighth staff. Section B starts at the beginning of the ninth staff and ends at the end of the tenth staff. The notation includes eighth and sixteenth notes, rests, and various chord voicings.

DNA(2)

Handwritten musical score for "DNA(2)". The score is written on ten staves, organized into five systems of two staves each. The notation includes chords, melodic lines, and performance instructions.

System 1 (Staves 1-2):

- Staff 1: Chords $Dm7$ / $G7$, C , $Cm6$ / Eb , E^{III} .
- Staff 2: Chords Ax / $C#$, C , $Cm6$, A^{IX} / D .

System 2 (Staves 3-4):

- Staff 3: Chords $D7-9$, G , $E7$, B / C .
- Staff 4: Chords $Cm6$, G , $E7$, A^{IX} / C .

System 3 (Staves 5-6):

- Staff 5: Chords $Bm7$ / $E7$, A^{IX} , $D7-9$, $C\#m7-5$.
- Staff 6: Chords A^{IX} / D , B / C , $Cm6$, G , $E7$.

System 4 (Staves 7-8):

- Staff 7: Chords $Cm6$, G , $E7$, A^{IX} / C .
- Staff 8: Chords $Cm6$, G , $E7$, A^{IX} / C .

System 5 (Staves 9-10):

- Staff 9: Chords $Cm6$, G , $E7$, A^{IX} / C .
- Staff 10: Chords $Cm6$, G , $E7$, A^{IX} / C .

Performance Instructions:

- rit...* (ritardando) appears at the start of the second and fourth systems.
- a tempo* (return to tempo) appears at the start of the second and fourth systems.
- Lava* is written at the end of the final system.

DNA (3) (Piano用)

The musical score is handwritten and titled "DNA (3) (Piano用)". It consists of five staves. The first four staves contain a melodic line and a bass line with various chords and fingerings. The fifth staff is mostly empty, with a few notes and a large downward-pointing arrow. Chord symbols include A7, D7, C, Cm, G/F, E7, B, C, Cm5, Cm, and B7(9). The word "Lava" is written at the bottom left.

Figure 6. Musical score of repeated sequences of the giant salamander. A professional composer, Masamichi Sugi, transformed the DNA sequence.

Рис. 6. Музыкальная интерпретация повторяющихся последовательностей у исполинской саламандры. Последовательность ДНК преобразована профессиональным композитором — Масамичи Суги.

Икуо Миура (перевод д. биол. н., проф. В. Л. Вершинина)

МУЗЫКА ДНК ЧЕЛОВЕКА И ИСПОЛИНСКОЙ САЛАМАНДРЫ

Генетический код ДНК, который является общим для всех организмов на Земле, и музыка, продукт человеческого интеллекта, имеют один и тот же композиционный принцип повторяющейся последовательности. Таким образом, последовательности ДНК могут быть преобразованы в музыкальные партитуры. В этой статье я представляю один пример музыки, созданной в результате трансформации геномных последовательностей людей и исполинской саламандры, уникального существа, обитающего на Японских островах.

Ключевые слова: *геном, музыкальная партитура, принцип композиции, повторяющиеся последовательности.*

В природе самцы птиц, лягушек и насекомых исполняют песни для привлечения самок. Основная фраза этих песен проста, коротка и повторяется. Такая песня обычно поется многими животными по всему миру. С другой стороны, слова — это инструмент коммуникации, специально разработанный людьми. Слово описано в первой главе Евангелия от Иоанна: «В начале было Слово, и Слово было у Бога, и Слово было Бог». Таким образом, «слово» присутствовало в начале человеческой истории. Но как насчет музыки? Считается, что музыка является продуктом человеческого интеллекта; никакое другое существо на Земле не сочиняет музыку, которая сложнее по структуре и длиннее, в сравнении с песнями, которыми животные привлекают самок. Прежде всего, музыка имеет большое значение для отдыха (расслабления), поощрения и воодушевления людей, а также для привлечения сексуальных партнеров, аналогично тому, как это встречается у животных. Музыка — это интеллектуальная работа, характерная для людей.

Все существа в мире, включая людей, самовоспроизводятся. Генетическая информация для каждого человека описывается их ДНК, которая называется «геномом» и включает в себя инструкции по структуре тела и контролю жизненной биологической активности,

такой, как обмен веществ, гомеостаз и размножение. Молекулярная структура ДНК, впервые раскрытая Уотсоном и Криком в 1953 г., показала, что генетическая информация (или генетический код) содержит только четыре буквы, которые представляют собой четыре нуклеотидных (азотистых) основания, а именно аденин (А), гуанин (G), тимин (Т) и цитозин (С). Геном человека состоит из 30 млрд оснований и был впервые расшифрован в 2003 г. С тех пор геномы многочисленных организмов от бактерий до растений были декодированы, и это касается все большего числа организмов.

В 1986 г. доктор Сусуму Оно и его жена Мидори Оно опубликовали статью о музыке ДНК. Они обнаружили, что генетический код ДНК и музыка имеют один и тот же принцип композиции, повторяющейся последовательности. Отдельные гены в геноме продублированы и дублируются, часто в избыточной степени; геномы могут состоять из многочисленных усеченных, созданных на базе копий оригинальных первичных «строительных» блоков¹. Точно так же музыкальная композиция опирается на тот же принцип повторяющейся последовательности. Фактически вы можете легко увидеть этот принцип в сборнике «Искусство фуги» (*Die Kunst der Fuge*), составленном Иоганном Себастьяном Бахом в 1740-х гг. из 14 фуг и 4 канонов, который является показательным примером, т. к. состоит из повторений простой фразы, состоящей всего из 13 нот (основная тема фуги — 13 нот). Следовательно, заключает С. Оно, базовые последовательности ДНК могут быть преобразованы в музыкальные партитуры. Поэтому мы можем услышать музыку, составленную путем перевода геномов всех существ, а также людей. Генетический код состоит из четырех букв, а октава западной музыки состоит из восьми нот. Таким образом, одно азотистое основание должно быть преобразовано в две ноты. Он предложил одно правило для преобразования последовательностей ДНК в музыкальные партитуры (Рис. 1). Пурины (аденин и гуанин) имеют большую молекулярную массу, чем пиримидины (тимин и цитозин). Таким образом, четыре

¹ *Ohno S.* Evolution by gene duplication. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1970; *Ohno S., Ohno M.* The all pervasive principle of repetitious recurrence governs not only coding sequence construction but also human endeavor in musical composition. *Immunogenetics*. № 24. 1986. P. 71–78.

основания расположены в порядке возрастания А, G, Т, С в соответствии с их комплементарностью — А с Т и G с С. Две ноты соответствовали одному основанию: ре и ми — А, фа и соль — G, ля и си — Т, и до и ре более высокой октавы — С. Выбор того, какая из двух нот используется, зависит от композитора.

В качестве примера я представляю образцы музыки ДНК из генома человека и исполинских саламандр. Исполинская саламандра — уникальное и необычное существо, представитель группы самых крупных ныне живущих хвостатых земноводных (максимальная длина — 1,5–1,8 м) из семейства скрытожаберников (*Cryptobranchidae*), состоящего всего из трех видов. Один из трех видов встречается в Японии, обитает обычно в небольших реках с чистой водой в лесах или вблизи рисовых полей (Рис. 2). Мы выбрали ген *NoxA13*, который управляет формированием пальцев (мы хотели послушать музыку гена морфогенеза пальцев, исполняемую пальцами на фортепиано). Был амплифицирован состоящий из 87 оснований фрагмент ДНК домена, кодирующий 29 аминокислот функционально важной области, и была определена его нуклеотидная последовательность (генетический код). В соответствии с наблюдениями С. Оно мы идентифицировали шесть шестибуквенных повторов (гексамеров), включая GAA, а затем трансформировали генетические коды в музыкальные партитуры в соответствии с правилом Оно² (Рис. 3). Затем мы определили генетические коды того же региона *NoxA13* у людей и также составили музыкальные партитуры. 20 из 87 оснований (23 %) были отличны от таковых у исполинской саламандры (Рис. 4). Вы можете прослушать и сравнить оба этих музыкальных произведения на нашем сайте³. Кроме того, мы составили ДНК-музыку из двух других областей генома исполинской саламандры: митохондриального не кодирующего региона и АТФазы⁴. Наконец, мы расшифровали 258 оснований повторяющейся последовательности, входящих в ядерный геном исполинской

² *Miura I.* Musical composition based on the genome of giant salamander: Science, romance and unknown world of life. *Bioscience and Industry*. № 63. 2005. P. 50–53.

³ Hiroshima University Institutional Repository. URL: <http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/en/00000134> (дата обращения: 01.02.2018).

⁴ Там же.

саламандры. Ее функция неизвестна, но около 600 тыс. экземпляров распределены по всему геному. Последовательность действительно повторяется, потому что в пределах 258 оснований октамеров (восьмибуквенных сочетаний) повторяется 12 раз, и каждая из двух других фраз также повторяется дважды (Рис. 5). Профессиональный композитор Масамичи Суги создал музыкальную партию ДНК-последовательности, трансформированную в этом исследовании⁵.

Музыка — продукт человеческого интеллекта, потому что другие организмы не сочиняют музыку. Однако используя одно заданное правило Оно, мы можем сочинять музыку из генетических кодов всех организмов в мире. Я рассылал эти музыкальные партитуры коллегам в Японии, Финляндии, Австралии и России с 2004 г. Большинство людей наслаждались музыкой, в то время как некоторые были против этой идеи, заявив, что это искусственный продукт, а не научный. Никто не знает, что может сказать, каково значение музыки ДНК в науке и культуре. Тем не менее, мы знаем, что идея Оно просто основана на общем композиционном принципе повторяющейся последовательности, характерном для ДНК и музыки. Мы также знаем, что музыка ДНК может быть красивой, захватывающей и интересной.

Благодарности

Я выражаю искреннюю благодарность студентам и преподавателям Высшей школы Хиросимы Кокутайджи (Япония) за последовательный анализ и Юкио Фукумото и Казуши Кувахара из Зоологического парка Аса г. Хиросимы за сотрудничество в выполнении исследования на исполинских саламандрах, и Тревайну Фернандесу (Австралия) за аранжировку и исполнение музыкальных партитур на фортепиано.

⁵ Там же.